JOSÉ EUGENIO RIBERA

PUENTES DE FÁBRICA
Y
HORMIGÓN ARMADO

TOMO IV

PUENTES DE HORMIGÓN ARMADO

OBRAS ESPECIALES

1932

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

Rosendo Garcia Diego 1944

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

11A

PUENTES DE FABRICA
Y
HORMIGON ARMADO

TOMO IV

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

OBRAS DEL AUTOR

ESTUDIO SOBRE LOS TRANVIAS DE VAPOR.—Folleto (1890). Agotado.

PUENTES DE HIERRO ECONOMICOS, MUELLES Y FAROS SOBRE PALIZADAS Y PILOTES METALICOS.—Segunda edición (1895).—Obra premiada con la Cruz de Caballero de Carlos III; 258 páginas de texto, con 37 figuras intercaladas y 31 láminas en tomo separado.—Informada favorablemente por la Academia de Ciencias.—Agotadas dos ediciones de 1.000 ejemplares.

ESTUDIO SOBRE EL EMPLEO DEL ACERO EN LOS PUENTES.—Publicado en el Boletín de la "Revista de Obras Públicas", números 7, 9 y 10 de 1896. Tomo I.

GRANDES VIADUCTOS.—Primer tomo de la Biblioteca de la "Revista de Obras Públicas" (1897).—Obra premiada con propuesta de la encomienda de Carlos III.—Un volumen en 4.° con 30 láminas, 400 páginas y 100 figuras intercaladas en el texto: 30 pesetas.

LA ASOCIACION INTERNACIONAL PARA EL ENSAYO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION.—Folleto (agotado).

HORMIGON Y CEMENTO ARMADO. MI SISTEMA Y MIS OBRAS.—Folleto.

FUENTES DE HORMIGON ARMADO.—Folleto de los artículos publicados en la "Revista de Obras Públicas" (1900) (agotado).

CUBIERTAS PARA DEPOSITOS DE AGUA.—Folleto (agotado).

CONFERENCIA EN EL ATENEO DE MADRID sobre las construcciones de hormigón armado.—Folleto (agotado), 1902.

LE BETON ARME EN ESPAGNE.—Publicado por el "Bulletin de la Société des Ingenieurs Civils de France". Mars, 1907.

LOS PROGRESOS DEL HORMIGON ARMADO EN ESPAÑA.—Folleto (1907).

LOS PUENTES MODERNOS.—Conferencia en el Instituto de Ingenieros Civiles.—Folleto (1908).

EL FERROCARRIL DE TANGER A ALCAZAR.—Folleto (1913).

LA VERDAD SOBRE EL FERROCARRIL DIRECTO DE MADRID A VALENCIA.—Folleto (1914).

LA CONVENIENCIA ESPAÑOLA EN LA GUERRA EUROPEA.—Conferencia en el Instituto Francés.—Folleto (1915).

LA ARITMETICA Y LA HISTORIA, EN CONTRA DE LA HEGEMONIA ALEMANA.—Conferencia en el Instituto Francés.—Folleto (1916).

EVOLUCIONES CONSTRUCTIVAS.—Conferencia en la Exposición de la Construcción (1925).

PUENTES DE FABRICA Y HORMIGON ARMADO.—Tomo I: **Generalidades, muros y pequeñas obras.**—324 páginas, 213 figuras y 20 láminas (1925).

Tomo II: **Cimientos.**—2.ª edición, corregida y aumentada (1931).

Tomo III: **Anteproyectos y puentes de fábrica** (1929).

En preparación: **Construcción general y Edificación.**

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

PUENTES DE FABRICA

Y

HORMIGON ARMADO

POR

DON JOSE EUGENIO RIBERA

INSPECTOR GENERAL DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
PROFESOR DE LA ASIGNATURA EN LA ESCUELA ESPECIAL DEL CUERPO
ACADEMICO CORRESPONSAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS

TOMO IV

PUENTES DE HORMIGON ARMADO

OBRAS ESPECIALES

1932

R. 522
S. 452/33-IV

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

Sucesores de Rivadeneyra (S. A.).—Artes Gráficas.—Paseo de San Vicente, 20.—MADRID

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

PRÓLOGO

Como anuncié en el prólogo del tomo III, dedicado al estudio de los *Anteproyectos* y de los *Puentes de fábrica,* este tomo IV comprende dos partes.

En la primera parte se describen todas las disposiciones empleadas en los *Puentes de hormigón armado*: Tramos rectos.—Arcos hasta 40 m. de luz.—Modelos oficiales.—Grandes arcos de más de 40 metros de luz.—Arcos articulados.—Arcos sin empuje y Apoyos de estos puentes.

En la segunda parte estudiamos las *Obras especiales,* o sean Viaductos.—Acueductos.—Sifones de hormigón armado.—Puentes oblícuos, en curva y en rampa.—Accesos, ensanches y transformaciones de los puentes.—Decoración.

Terminamos este tomo IV con un capítulo en el que el autor expresa, aunque muy esquemáticamente, las resultantes de su experiencia, reseñando las soluciones más indicadas para la mayoría de los problemas que se han estudiado en los cuatro tomos que comprende este curso de puentes.

Incluímos, por último, en los Apéndices, por considerarlos necesarios para nuestros lectores, el nuevo *Pliego de condiciones para la construcción de los puentes de hormigón armado,* y el también reciente y nuevo *Pliego de condiciones para la recepción de los aglomerantes hidráulicos en las obras de carácter oficial,* que anula el Pliego de condiciones antiguo, incluído como Apéndice número 1 en nuestro tomo I.

Habíamos anunciado un tomo V de este libro, dedicado al *Cálculo y construcción* de los puentes.

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

Pero reconociendo que los cálculos necesarios para la comprobación de las dimensiones de un puente están perfectamente explicados en los libros de nuestros distinguidos compañeros D. Bernardo Granda (*Resistencia de materiales*) y D. Alfonso Peña (*Hormigón armado* y *Mecánica elástica*), considera el autor preferible dedicar su próximo libro a un *Curso de construcción,* en el que incluirá la de los Puentes y de los Edificios, porque no conocemos textos españoles recientes que describan con suficiente detalle los modernos procedimientos de construcción, que difieren en criterio y en medios auxiliares de los que se explican en la mayor parte de los libros.

* * *

Ya en los tomos anteriores signifiqué mis juicios propios sobre las pequeñas obras, los muros y cimientos y puentes de fábrica.

Aún seré más personal en este cuarto y último tomo, ya que las obras de hormigón armado constituyen una de las especialidades a que me dediqué desde su aparición.

Escribo mis libros con igual sinceridad que hablo a mis alumnos en clase.

Allí les expliqué el proceso de mi actuación profesional, las muchas contingencias que sufrí, y no oculto, sino que casi me complazco en detallar mis yerros en la concepción de centenares de puentes que proyecté y construí.

Ya en la *Revista de Obras Públicas* de 24 de septiembre de 1911, al describir el puente-viaducto de Pino, que proyecté hace treinta y cinco años, no vacilaba en autocriticarme, y terminaba aquel artículo con los siguientes párrafos:

"Quizá parezca extraño a muchos compañeros, algunos de los que se consideran infalibles, que yo mismo confiese mis errores; pero si todos los que se equivocan (y debemos ser legión) tuvieran la franqueza de publicarlo, se evitarían muchos fracasos y muchas pérdidas de energía y de dinero.

"Nuestra profesión no es un sacerdocio con dogmas sagrados e infalibles: es una gerencia industrial, lo mismo cuando defendemos los intereses de una Compañía o de un contratista, que cuando administramos los presupuestos del Estado proyectando o dirigiendo para éste las obras que debemos realizar *con el menor gasto posible.*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

"Debemos, pues, dar más importancia a las pesetas que a las integrales y a la belleza, y tenemos la obligación, o por lo menos el deber moral, de procurar que los compañeros no caigan en los errores que podamos observar, pues éstos se traducen en dinero mal gastado, y como a mí me cuesta menos reconocer mis equivocaciones que criticar las de los demás (aunque no se me escapan), creo prestar mejor servicio a mis compañeros y al país haciendo la autocrítica de mis trabajos que manteniéndome en el olímpico silencio con que muchos ingenieros ocultan sus hierros."

Pues bien: esto que escribía cuando era ya constructor, lo ratifiqué ante mis discípulos y persevero como autor.

Criticando mis disposiciones, al exponer las mejoras que la experiencia me sugirió, no debo prescindir del escalpelo al ocuparme de los puentes de otros ingenieros, muchos de los que fueron bien concebidos cuando se estudiaron, pero que ahora resultan anticuados.

Es tan rápida e intensa la evolución constructiva provocada por la guerra y su consiguiente carestía de mano de obra y materiales y por el empleo creciente del maquinismo y de los hormigones, en masa o armados, que considero esencial justificar aquella evolución orientando a los futuros ingenieros entre la caótica variedad de tipos aplicables a cada problema.

Ya dije en el tomo I que no basta describir *lo que se ha hecho*: es, sobre todo, preciso *aconsejar lo que debe hacerse.*

El catedrático no es un historiador: debe ser un crítico de lo suyo y de lo ajeno.

Espero realizarlo con imparcialidad; los lectores apreciarán si lo he conseguido.

Pero en todo caso evidenciamos en este Tomo que los Ingenieros españoles se han adelantado a casi todos los países en imaginar muchas disposiciones de puentes, acueductos y sifones de hormigón armado, originales y económicos, que posteriormente fueron aplicadas en el Extranjero.

Es una muy honrosa satisfacción para nuestra Escuela el poder así contribuir con tales ejemplos al ensalzamiento de la Ingeniería nacional.

J. Eugenio Ribera.

Madrid, 6 de octubre de 1931.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

PUENTES DE FABRICA Y HORMIGON ARMADO

INDICE DEL TOMO IV

PRIMERA PARTE

PUENTES DE HORMIGON ARMADO

Páginas

PRÓLOGO 5

CAPITULO PRIMERO

TRAMOS RECTOS

§ I.—**Definiciones y ventajas** 20

§ II.—**De tablero superior, en tramos independientes.**

Disposición general.—Número de vigas 21
Viguetas.—Arriostramientos 22
Chaflanes.—Armaduras.—En forjados 23
En vigas 24
Armaduras con vigas armadas 25
Horquillas.—Dimensiones del hormigón 27
Ejecución de los tramos.—Andenes 28
Dispositivos para dilataciones 29

§ III.—**Ejemplos de tramos con tablero superior y vigas llenas.**

Puentes en Alcazarquivir (Marruecos) 31
Viaducto de Vallcarca (Barcelona) 33
Puente del ferrocarril de Lérida a Saint-Girons 34
Puente sobre el Zújar (Badajoz) 35
Puente de Tucumán (Argentina) 36
Puente sobre el río Salt (California) 37

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Páginas

§ IV.—**Vigas aligeradas, con tablero superior.**

Disposiciones empleadas..... 38
Puentes de los ferrocarriles suburbanos de Málaga; de Serradilla, sobre el Tajo; de Alfonso XIII, próximo a Larache..... 39
Defectos de las vigas trianguladas..... 42
Vigas Vierendeel.—Paso superior en el Clot (Barcelona)..... 44

§ V.—**De tablero inferior o intermedio.**

Tablero.—Vigas..... 46
Puentes de Dueñas; de Rambla del Obispo (Almería)..... 47
Sobre el Garona (Valle de Arán); de Unquera (Santander)..... 49
De la calle de Lafayette (París)..... 50

§ VI.—**Tramos continuos.**

Sus ventajas.—Sus inconvenientes..... 51

§ VII.—**Conclusiones**..... 53

CAPITULO II

ARCOS CORRIENTES EMPOTRADOS HASTA 40 METROS DE LUZ

§ I.—**Disposiciones generales de los arcos.**

Arcos macizos..... 56
Arcos ligeros..... 58
Arcos rígidos..... 59
Arcos con tablero.—Curvas directrices..... 64

§ II.—**Tímpanos y tableros.**

Tímpanos macizos..... 65
Con aligeramientos.—Con tabiques..... 66
Con pilares.—Dispositivos para las dilataciones..... 67

§ III.—**Armaduras flexibles en los arcos.**

Con redondos longitudinales.—Con redondos zunchados, sistema Considère..... 69
Con fundición zunchada, sistema Emperger..... 70
Con armaduras transversales, sistema Freyssinet..... 71

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Páginas

§ IV.—**Armaduras rígidas en los arcos.**

Importancia de las cimbras..... 71
Con viguetas.—Con cerchas armadas..... 74
Armaduras semi-rígidas 76

§ V.—**Ejemplos de algunos puentes en arco.**

Puente de San Adrián..... 77
De San Giovani; de Golbardo (Santander)..... 78
Acueducto del Chorro..... 79
Puente de María Cristina (San Sebastián)..... 81
Puente Victoria (Madrid)..... 84

§ VI.—**Conclusiones.**

Ventajas de las armaduras rígidas..... 85
Su aumento de costo es aparente..... 87
Otras ventajas 88

CAPITULO III

MODELOS OFICIALES DE PUENTES

§ I.—**Para caminos vecinales.**

Tramos rectos..... 92
Tramos en arco..... 94

§ II.—**Para carreteras de tercer orden.**

Tramos rectos..... 96
Tramos en arco..... 100
Pliegos de condiciones facultativas..... 101

§ III.—**Para ferrocarriles de vía ancha.**

Reducción del balasto.—Tramos rectos..... 104
Tramos en arco de hormigón en masa..... 108
Tramos en arco de H. A..... 110
Pliego de condiciones..... 111

§ IV.—**Ejemplos de algunos puentes construídos con modelos oficiales.**

Sobre el río Andarax (Almería)..... 112
Sobre el Guadarrama (Toledo).—Sobre el Guardal (Granada).—De Alconétar, sobre el Tajo (Cáceres)..... 113

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Páginas

Viaducto de Gaznata (Avila) 115
Sobre el Júcar (Valencia) 116

§ V.—**Conclusiones** 116

CAPITULO IV

GRANDES ARCOS EMPOTRADOS

§ I.—Consideraciones generales.

Arcos inferiores o superiores.—Son casos excepcionales 120
Ventajas del H. A. 121
Luces máximas que pueden alcanzarse.—Los grandes arcos no pueden someterse a reglas ni modelos 122

§ II.—Grandes arcos con armadura flexibles en España.

De la Presa (41,50 m.), Goizueta (Navarra) 123
Sobre el Nalón (44 m.), en Valduna (Asturias) 125
De Purchena (50 m.) (Almería) 125
De San Román de Candamo (70 m.) (Asturias) 126
De Alarza (70 m.) (Cáceres) 128

§ III.—Grandes arcos con armaduras rígidas en España.

De San Telmo (44 m.), en Sevilla 130
De Manzanal del Barco (44 m.) (Zamora) 133
Puente-viaducto de Siete Lunas (44 m.) (Alicante) 134
Sobre el Tajo (66 m.) (Guadalajara) 135

§ IV.—Grandes arcos inferiores en el extranjero.

De Forgaria (40 m.) (Italia) 136
De La Victoria (53,50 m.), en Cremono (Italia) 137
De Minneápolis (64,30 m.) (Estados Unidos) 138
De Laval de Cére (67 m.) (Francia) 139
De la Tournélle (73 m.), en París.—De Plougastel (172,60 m.) (Francia) 140
De Lisboa (Portugal) 144

§ V.—Grandes arcos superiores en el extranjero.

De Chippis (60 m.) (Suiza) 146
De Conflans (126 m.) (París) 147
De Saint-Pierre de Vauvray (131,80 m.) (Francia) 148

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Páginas

§ VI.—**Conclusiones.**

Pueden reducirse casi siempre las grandes luces..... 149
Inconvenientes de los arcos superiores.—Evolución constructiva de los arcos.—No despreciemos los puentes metálicos..... 150

CAPITULO V

ARCOS ARTICULADOS

§ I.—**Consideraciones generales.**

Tipos de articulación en bóvedas de fábrica..... 153
Sus modificaciones en arcos de hormigón armado..... 154
Tipo Mesnager..... 155
Tipo Freyssinet..... 156
Tipo Emperger.—Tipo Sánchez del Río..... 157
Número de articulaciones.—Disposiciones de arcos y armaduras..... 159

§ II.—**Ejemplos de arcos articulados españoles.**

Sobre el río Iruela (Huesca)..... 160
En San Juan de las Abadesas (Gerona)..... 161
En Besalú (Gerona)..... 162
En Requejo (Asturias)..... 163
Pasarela de Gerona..... 164
En Mequinenza (Zaragoza)..... 165
En Gelsa (Zaragoza)..... 167

§ III.—**Ejemplos de arcos articulados en el extranjero.**

Puente de Pinzano (Italia)..... 169
Puente sobre el Meduna, en Seguals (Italia)..... 170
Puente viaducto sobre el Valdassa (Italia)..... 171
Puente sistema Emperger, en Gmunden (Austria)..... 172
Puente sobre el canal Donau, en Viena..... 173
Puente sobre el Tarn, en Montanban (Francia)..... 174
Puente Candelier, sobre el río Sambre (Bélgica)..... 175
Puente sobre el Lot, en Port d'Agrès (Francia)..... 176
Puente de Echelsbach (Baviera)..... 177

§ IV.—**Conclusiones**..... 178

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Páginas

CAPITULO VI

ARCOS SIN EMPUJE

§ I.—**Con arcos inferiores** 182

Con tímpanos de celosía tipo Visontini.—Con tabiques rígidos en tímpanos.—Con tímpanos macizos y rígidos tipo Wunsh 183

§ II.—**Con pórticos** 184

En América.—En Viena 185
En Bélgica 186

§ III.—**Con arcos superiores.**

Disposiciones posibles. — Puente sobre el Nalón, en La Oscura (Oviedo) 189
Puente de Prat de Llobregat 189
Puente en Montauban, sobre el canal de Lissac (Francia) 190
Puente de Villa Santina sobre el Tagliamento (Italia) 191
Puente Cobianchi (Italia).—Puente sobre el río Melegue (Túnez) 193

§ IV.—**Con puentes colgados.**

Puente-acueducto colgado sobre el río Guadalete (Jerez) 194
Paso superior colgado de Laon (Francia) 197
Puente colgado de Lusancy sobre el río Marne (Francia) 198
Puente de Montrose (Inglaterra) 199

§ V.—**Conclusiones comparativas.**

Con arcos inferiores.—Con pórticos.—Con arcos superiores 200
Puentes colgados 201

CAPITULO VII

APOYOS EN LOS PUENTES DE HORMIGON ARMADO

Inconveniente de los apoyos de H. A 203
Apoyos de fábrica para tramos rectos 204
Palizadas de H. A 207
Pilares de H. A. en tramos continuos 213
Secciones y armaduras de pilares.—Pilas y estribos de H. A 214
Conclusiones 218

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Páginas

SEGUNDA PARTE

OBRAS ESPECIALES 219

CAPITULO VIII

VIADUCTOS

§ I.—**Consideraciones generales.**

Definiciones.—Necesidad de los viaductos 222
Su clasificación: por su emplazamiento o por sus rasantes 223
Importancia de los gastos de tracción que ahorran.—Solución óptima financiera 223

§ II.—**Viaductos de fábrica.**

Historia 224
Tipos franceses (Fontpédrouze) 225
Tipos españoles.—Aplicación de nuestros Modelos oficiales 230
Pilas 231
Viaductos suizos 232

§ III.—**Viaductos de hormigón armado.**

Con tramos rectos 232
Ejemplos de Petrópolis (Brasil), Tricanco (Chile) y Tirso (Cerdeña).—Con arcos: ejemplos de Serra (Italia), Grandfrey (Suiza) y Teruel 236
Con arcos y tramos rectos: ejemplos de Barranco Hondo y Galcerán (Tenerife); del ferocarril de Alicante a Alcoy; de la villa de Alcoy y del río Chiusella (Italia) 242

§ IV.—**Pasos superiores y pasarelas.**

Pasos superiores 248
Pasarelas 250

§ V.—**Conclusiones.**

Menores luces que para los puentes.—Economía en las cimbras 252
Distribución de luces.—Elección de materiales.—Elección de tipos.—Ni decoración ni grandes arcos 253

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Páginas

CAPITULO IX

ACUEDUCTOS

§ I.—**Acueductos de fábrica.**

Su historia..... 255
Disposiciones modernas..... 256
Cajeros de H. A. (Ejemplo: Perera)..... 257

§ II.—**Acueductos de H. A.**

Con tramos rectos. Ejemplos: acueducto del Araxes y del Nou..... 258
Con tubos. Ejemplos: de Miraflores..... 260
Con semitubos (de Tardienta)..... 262
Con arcos. Ejemplos: del Chorro; de Váldespares; de la Adelfa; de Almonaza; del Júcar; de Mollaso..... 266

§ III.—**Conclusiones**..... 273

CAPITULO X

SIFONES DE HORMIGON ARMADO

§ I.—**Generalidades.**

Su historia..... 277
Soluciones modernas..... 278
Accesorios de los sifones.—Sus espesores..... 279
Dosificación.—Impermeabilidad 281
Tubos fabricados o centrifugados. — Sus camas y juntas. — Puentes portasifones 282
Puentes de tubos..... 283

§ II.—**Ejemplos de sifones**..... 284

Sifón del Sosa y Ribabona..... 284

§ III.—**Conclusiones** 296

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Páginas

CAPITULO XI

PUENTES OBLICUOS EN CURVA Y EN RAMPA

§ I.—**Puentes oblicuos.**

Aparejos del siglo XIX 299
Con bóvedas de hormigón 300
Con arcos o bóvedas de H. A. 302
Con bóvedas rectas sobre apoyos oblicuos 303
Con arcos gemelos 303
Con tramos rectos de H. A. 304

§ II.—**Puentes y viaductos en curva** 305

§ III.—**Viaductos en rampa** 307

§ IV.—**Conclusiones** 308

CAPITULO XII

ENSANCHES, ACCESOS Y TRANSFORMACIONES DE LOS PUENTES

§ I.—**Ensanches.**

Disposiciones antiguas 311
Ensanches metálicos.—Ensanches de H. A. 312

§ II.—**Accesos** 315

§ III.—**Transformaciones** 317

CAPITULO XIII

DECORACION DE LOS PUENTES

§ I.—**Su historia hasta 1900** 312

§ II.—**Elementos ornamentales.**

Archivoltas 323
Impostas y pretiles 324

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Páginas

Obeliscos.—Puertas 326
Decoración de los tramos rectos.—Andenes en voladizo..... 331
No hay que abusar..... 333

§ III.—**La evolución decorativa del siglo XX**..... 334

§ IV.—**La colaboración de los arquitectos**..... 339

CAPITULO XIV

RESULTANTES DE MI EXPERIENCIA

Muros.—Pequeñas obras.—Cimientos.—Anteproyectos.—Puentes de fábrica.—Puentes de hormigón armado.—Obras especiales..... 341

APENDICE 1.°

Pliego de condiciones facultativas y generales para la construcción de puentes de hormigón armado para ferrocarril..... 347

APENDICE 2.°

Pliego general de condiciones para la recepción de los aglomerantes hidráulicos en las obras de carácter oficial..... 353

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

PRIMERA PARTE

PUENTES DE HORMIGON ARMADO

CAPÍTULO I.—Tramos rectos.
CAPÍTULO II.—Arcos corrientes empotrados (hasta 40 metros de luz.)
CAPÍTULO III.—Modelos oficiales.
CAPÍTULO IV.—Grandes arcos (de 40 metros de luz en adelante.)
CAPÍTULO V.—Arcos articulados.
CAPÍTULO VI.—Arcos sin empuje.
CAPÍTULO VII.—Apoyos de los puentes de hormigón armado.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

CAPÍTULO I

TRAMOS RECTOS

§ I.—**Definiciones y ventajas.**

§ II.—**De tablero superior, en tramos independientes.**

Disposición general.—Número de vigas.—Viguetas.—Arriostramientos.—Chaflanes.—Armaduras.—En forjados.—En vigas.—Armaduras con vigas armadas.—Horquillas.—Dimensiones del hormigón.—Ejecución de los tramos.—Andenes.—Dispositivos para dilataciones.

§ III.—**Ejemplos de tramos con tablero superior y vigas llenas.**

Puentes en Alcazarquivir (Marruecos).—Viaducto de Vallcarca (Barcelona).—Puente del ferrocarril de Lérida a Saint-Girons.—Puente sobre el Zújar (Badajoz).—Puente de Tucumán (Argentina).—Puente sobre el río Salt (California).

§ IV.—**Vigas aligeradas, con tablero superior.**

Disposiciones empleadas.—Puentes de los ferrocarriles suburbanos de Málaga; de Serradilla, sobre el Tajo; de Alfonso XIII, próximo a Larache.—Defectos de las vigas trianguladas.—Vigas Vierendeel.—Paso superior en el Clot (Barcelona).

§ V.—**De tablero inferior o intermedio.**

Tablero.—Vigas.—Puentes de Dueñas; de Rambla del Obispo (Almería); sobre el Garona (Valle de Arán); de Unquera (Santander); de la calle de Lafayette (París).

§ VI.—**Tramos continuos.**

Sus ventajas.—Sus inconvenientes.

§ VII.—**Conclusiones.**

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

§ I.—DEFINICIONES Y VENTAJAS

Definiciones.—Clasificamos como tramos rectos de hormigón armado todos aquellos constituídos por vigas rectangulares paralelas al eje del puente y sosteniendo el tablero que constituye la plataforma del puente.

Las *vigas* pueden ser de *alma llena* o *aligerada.*

Los *tableros* pueden ser: *superiores* a las vigas, *intermedios* entre éstas, o *inferiores,* apoyándose entonces en sus cabezas inferiores.

En puentes de varios tramos, las vigas pueden ser *independientes* en cada uno de ellos o *continuas* sobre varios o todos los apoyos, análogamente a lo que se hace con frecuencia en los tramos metálicos.

Sus ventajas.—La primordial ventaja de los tramos rectos de H. A. sobre las bóvedas de fábricas o arcos de H. A., es que aquéllos *sólo producen reacciones verticales* en los apoyos y permiten, por lo tanto, *reducir sensiblemente el volumen de pilas y estribos, y sobre todo el de sus cimientos,* que suelen ser factores decisivos en los presupuestos.

Estas economías en cada apoyo permiten a su vez aumentar su número, lo que consiente la reducción de luces de los tramos, que resultan así más baratos por metro lineal de puente; recuérdese, a este propósito, que los momentos flectores de un tramo crecen en proporción de los cuadrados de las luces, y que casi en igual proporción van aumentando las dimensiones de hormigones y aceros; se reduce, pues, sensiblemente el coste de la infraestructura de un puente empleando tramos de la menor luz posible, consentida por el coste de los apoyos, y claro es que también por las exigencias de desagüe del puente.

Por estas razones se han generalizado muy especialmente los tramos rectos de H. A., que, por otra parte, ofrecen sobre los metálicos la sensible ventaja de suprimir las costosas y frecuentes pinturas que éstos exigen.

Examinaremos cada uno de los tipos de tramos rectos que acabamos de clasificar.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

§ II.—DE TABLERO SUPERIOR, EN TRAMOS INDEPENDIENTES

Disposición general.—Como dijimos ya en el primer tomo, al ocuparnos de las pequeñas obras, *el sistema de tramos rectos de tablero superior con tramos independientes es el más corriente, y se emplea quizá en el ochenta por ciento de los puentes;* existen ya millares de ellos, algunos de los que, construídos por el autor, llevan más de treinta años de existencia, sin que en ellos aparezca la menor señal de fatiga y aun menos de destrucción.

La disposición más práctica y de mayor aplicación consiste (figura 1 - A) en constituir el tablero por dos vigas de H. A., unidas por su forjado; éste actúa como tablero y plataforma del puente y *trabaja al mismo tiempo como cabeza de compresión de las vigas,* con las que se une rígidamente por las armaduras de ambos elementos entrelazados entre sí.

Esta sensible ventaja es peculiar exclusivamente de los tramos rectos *con tablero superior,* pues en todas las demás disposiciones de tramos rectos o en arco el tablero *pesa* sobre las vigas o arcos, sin contribuir en nada a aliviar su trabajo.

Número de vigas.—Mientras el ancho del tablero no excede de 8 m., es más económico poner sólo dos vigas con forjado simétrico.

Su altura, por debajo del forjado, puede ser de 1/10 de la luz teórica, con lo que suele obtenerse una buena proporción de acero.

Pero hay muchos casos en que, por exigencias de la rasante, no se puede dar esta altura, y para evitar un exceso de metal es preferible aumentar a tres o más el número de vigas (fig. 1 - B).

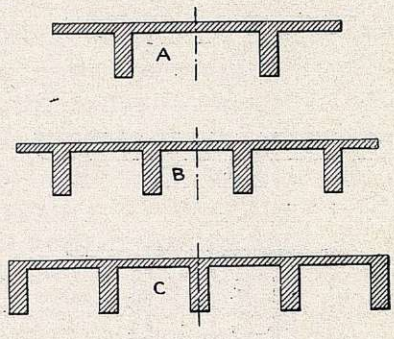


Fig. 1.ª

Lo mismo ocurre cuando el ancho del puente es mayor de 8 metros; en este caso deben tantearse los anchos de forjado y número de vigas más conveniente.

Asimismo, en tramos rectos en poblaciones, en los que por con-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

sideraciones estéticas se quieren evitar los voladizos de forjados, que ciertos artistas consideran poco decorativos (aunque ignoro por qué), se sitúan vigas en los paramentos del puente (fig. 1 - C); pero hay entonces un desperdicio de material, pues que estas vigas de los frentes sólo tienen que resistir la mitad de la sobrecarga correspondiente a las vigas centrales, sobrecargas que, además, son menores en los andenes que en la calzada.

Viguetas.—Algunos ingenieros, para reducir el volumen de forjados y el peso de sus armaduras, completan el entramado del tablero con viguetas *v v*, como en la figura 2 (A y B), a distancias de 1,50 a 2 m.; prolongan entonces estas viguetas por debajo de los voladizos del forjado, quedando éste sostenido por ménsulas exteriores *m m*.

Los espesores de forjados y sus armaduras podrán entonces resultar algo menores y las ménsulas podrán ser más decorativas; *pero el coste de los tableros así dispuestos será, en cambio, más elevado,* por efecto del aumento considerable de coste de los moldes y mano de obra.

Salvo, pues, casos excepcionales, no son necesarias ni convenientes las viguetas ni ménsulas; las disposiciones sencillas suelen ser las mejores.

Arriostramientos.—Para los tramos más corrientes, hasta 15 metros de luz, las vigas no requieren arriostramientos transversales; les basta con la solidaridad conseguida por el forjado que une sus cabezas superiores y con la sujeción que en sus extremos se obtiene macizando en los estribos y pilas, con fábrica ordinaria, los huecos que quedan entre las vigas.

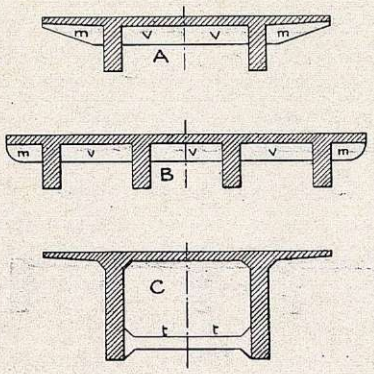


Fig. 2.ª

Pero en tramos de luces superiores a 15 m., en los que la altura de las vigas excede, por lo tanto, de 1,50 m., ya conviene arriostrar las cabezas inferiores con tirantes *t t* de H. A. (fig. 2 - C), que pueden ser de sección cuadrada de 20 ó 30 cm. de grueso y altura y a distancias de 8 a 10 m.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Chaflanes.—Para la construcción de estos tramos se precisan moldes de vigas y forjados bien rígidos, de fácil montaje y descimbramiento.

El molde más sencillo se obtiene con la disposición de la figura 3 - A, y así ejecutamos nuestros primeros tramos.

Pero, con objeto de reforzar el empotramiento del forjado en la cabeza de la viga, es preferible, y así lo hacemos hoy, enlazar ambos elementos por chaflanes *c c* de 10 a 15 cm., a 45° (fig. 3 - B); asimismo, para atenuar las aristas inferiores de las vigas, es conveniente también chaflanarlas en la mayor parte de su longitud con biseles *b b* de 3 a 5 cm. de lado.

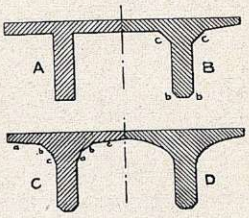


Fig. 3.ª

Algunos ingenieros, entre otros Zafra, en sus modelos oficiales de tramos rectos, han exagerado la nota poniendo tres chaflanes sucesivos *a b c* entre vigas y forjados (fig. 3 - C); también se han moldeado los forjados como bovedillas (fig. 3 - D).

Nos parece excesivo afinar tanto; se encarecen los moldes y se dificultan sus operaciones, sin ventaja sensible para la rigidez ni resistencia del tramo; lo único que conviene, siendo fácil conseguirlo, es disminuir el grueso de los voladizos, desde su arranque a su extremo, como se ve en la figura 3 - B.

Armaduras.—Mientras estuvieron en vigor las muchas patentes de invención con que los constructores de todos los países quisieron sostener y explotar el monopolio de sus disposiciones, hubo cierta anarquía en la forma de colocar las barras en vigas y forjados y hasta en las secciones de los aceros empleados.

Pero, caducadas ya todas aquellas patentes, han ido poco a poco los ingenieros disponiendo las armaduras con arreglo a su más racional distribución, a su más fácil montaje y enlace.

La experiencia mundial en los últimos treinta años y los experimentos de laboratorios han uniformado casi por completo las disposiciones que hoy se emplean.

En forjados.—Se constituyen con aceros redondos de 6 a 20 milímetros, a distancia de 8 a 12 cm., según las cargas y luces.

En el tipo corriente (fig. 4) se doblan *la mitad* de las barras para

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

que sus extremos resistan a las flexiones del voladizo; preferimos esta sencilla disposición a la de la figura 5, en la que se arma también la parte inferior del voladizo, pues en éste el hormigón se basta para resistir a la compresión.

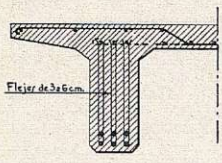


Fig. 4.ª

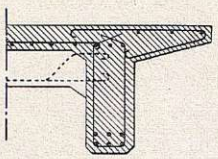


Fig. 5.ª

Cuando se pongan viguetas, *que deben situarse a menor distancia* entre ellas que las vigas, las barras de resistencia del forjado deben, claro es, situarse normalmente a las viguetas (fig. 5).

En ambos casos conviene añadir en forjados y voladizos *algunas barras de repartición,* en sentido normal a las de resistencia, de 6 a 8 mm. de diámetro y a distancias de 15 a 20 cm.

Algunos ingenieros (1) añaden también horquillas para las barras de forjado, pero el autor no las emplea por considerarlas inútiles.

Asimismo, para la adherencia, considera el autor que basta doblar a ángulo recto las puntas de estas barras, sin necesidad de doblarlas en forma de ganchos curvos y geométricos.

Armaduras en vigas.—Se emplean casi exclusivamente aceros dulces redondos del comercio.

Conviene distribuir los esfuerzos de tensión de las vigas en un número par de barras, todas ellas de igual diámetro y dispuestas en varias filas.

Muchos ingenieros, como Zafra, en sus modelos oficiales, para reducir el número de barras emplean diámetros de 40 a 50 mm. de diámetro; pero éstas son difíciles de manejar y, sobre todo, de doblar en sus extremos.

La experiencia del autor le permite aconsejar se reduzca el diámetro máximo de estas barras a 35 mm., aunque para ello fuera menester aumentar algún tanto la altura de las vigas, pues así pueden encargarse a fábrica con toda su longitud, por ser posible doblarlas para su transporte, evitándose con ello las soldaduras o empalmes,

(1) Entre otros, Zafra, en sus modelos oficiales de carreteras. (Véase capítulo III.)

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

que exigen precauciones especiales (1); al aumentar el número de barras crece también la superficie total de las mismas y, por lo tanto, su adherencia al hormigón.

Respecto a su disposición en alzado, deben estas barras doblarse en la forma representada en la figura 6, correspondiente a los modelos que hemos estudiado para Marruecos y Guinea; conviene también alternar los puntos de doblez de todas las barras para distribuir sus zonas inclinadas en toda la masa de hormigón de las vigas y darle así más homogeneidad.

De esta manera contribuyen las barras principales de las vigas a

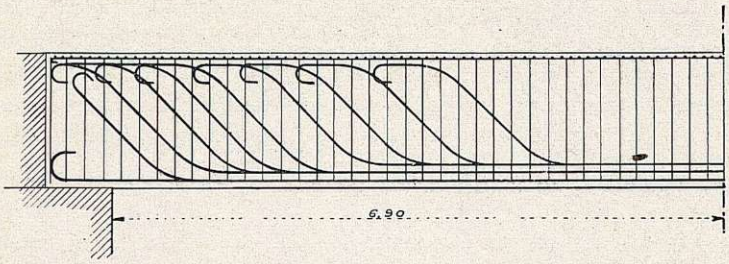


Fig. 6.ª

resistir a los esfuerzos cortantes, a la vez que a las tensiones que en las cabezas superiores de las vigas determinan en sus extremos el empotramiento imperfecto que siempre se produce en sus apoyos.

En cuanto a la forma de los ganchos, los experimentos de laboratorio han demostrado que la forma circular con un diámetro de seis veces el grueso de las barras es el más eficaz de todos los tipos de ganchos empleados hasta ahora.

Armaduras con vigas armadas.—En algunos casos, así como para alcantarillas y pontones se armaron las losas con viguetas del comercio (2), hemos empleado vigas armadas. Así, por ejemplo, en los tramos rectos de 22 m. del puente del Kursaal, en San Sebastián (figuras 7, 8 y 9). Está dicho puente en la propia barra del

(1) Véase art. 9.° del pliego de condiciones facultativas generales aplicables a todas las obras de H. A., apéndice núm. 2 del tomo I de este libro y lo que en éste decimos (cap. III, § III) sobre estos empalmes.

(2) Véase tomo I, pág. 229.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

río Urumea, con gran oleaje en las pleamares del Cantábrico, y hubiera sido muy peligroso moldearlas con cimbras fijas, apoyadas sobre arena, expuestas a las marejadas y resacas, que se intensifican en aquel emplazamiento.

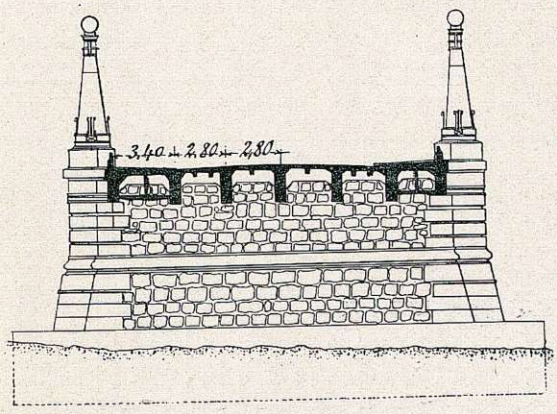


Fig. 7.ª—Puente del Kursaal en San Sebastián.

Para evitar aquel peligro, que hubiera en todo caso retrasado la construcción de 4 tramos de 22 m. de luz por 20 m. de anchura, preparamos previamente para las vigas unas cerchas rígidas (figs. 8 y 9), que se montaron sobre ligeros andamios, de cuyas cerchas suspendimos los moldes de vigas y forjados, que permitieron construir todo el puente en un verano; hubo un exceso evidente de metal, pero nos lo ahorramos en tiempo y en la supresión de una costosa cimbra.

Para reducir su altura a 1,60 m., o sea 1/13,3 de la luz, proyectamos siete vigas por tramo, lo que también exigía un aumento de hierro (1).

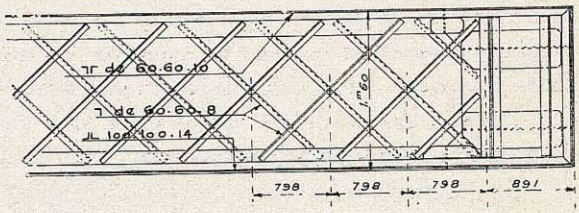


Fig. 8.

Horquillas.-Para solidariar las vigas y sus forjados se añaden horquillas verticales, también de aceros redondos, que con los dobleces de las barras principales resisten los esfuerzos cortantes (2).

---

(1) Proyectadas y dirigidas sus obras, por administración, por el autor de este libro y el ingeniero industrial D. Víctor Arana.

(2) El cálculo de todos estos elementos se explica en el libro *Hormigón armado,* de Zafra.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

La casa Hennebique emplea, sin embargo, para estas horquillas unos flejes de acero de 30 a 60 mm. de ancho y gruesos de 1 a

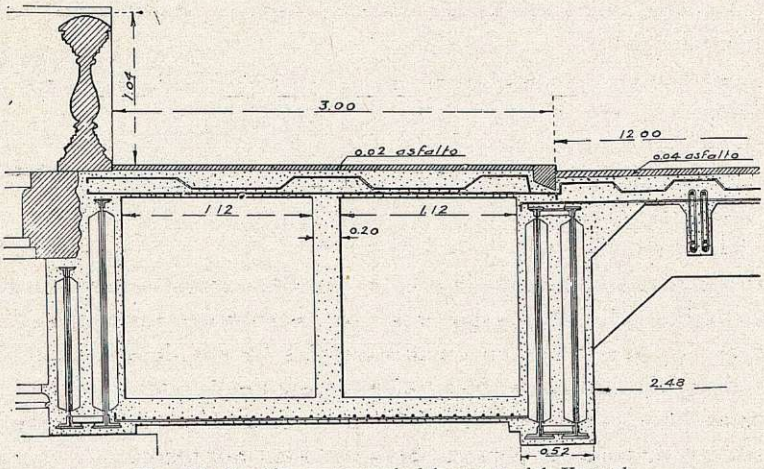


Fig. 9.ª—Sección transversal del puente del Kursaal.

3 mm. abrazando cada una de las filas de barras y dobladas ligeramente en sus extremos (fig. 4).

Zafra empleó redondos (fig. 5) abrazando todas las filas de barras.

El autor utiliza también redondos, de 5 a 10 mm., dispuestos como se ve en la figura 10, que envuelven asimismo unas pequeñas barras de comprensión, añadidas a las armaduras principales de las vigas y colocadas por encima de las barras del forjado, para completar así la solidaridad y, por ende, el monolitismo de vigas y forjados.

En la figura 11 presentamos otras disposiciones de horquillas, preconizadas por sus autores; pero nos parecen más complicadas y no más eficaces que las anteriormente descritas.

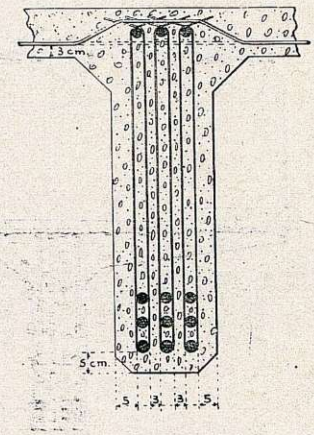


Fig. 10.

Dimensiones del hormigón.—Los forjados de los puentes deben prácticamente tener un grueso mínimo de 8 cm. y un máximo de 20 cm.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Las vigas deben tener una altura media de 1/8 a 1/10 en la luz, aunque se puede reducir a 1/12 y hasta un 1/15 si la rasante lo exigiera; pero se encarecen entonces, porque la cuantía del acero aumenta muy considerablemente.

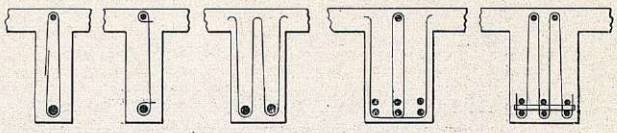


Fig. 11.

Respecto al ancho o grueso de las vigas, que no debe ser inferior a 25 cm., ha de reducirse en lo posible para disminuir su peso muerto. Para ello se superponen las barras en una o varias filas, pero aun así hay que tener en cuenta que las barras deben situarse a una distancia mínima de 5 cm. de los costados y fondo y a 3 cm. de distancia entre sus filas (fig. 10), para sustraerlas a la oxidación posible y permitir el perfecto apisonado del hormigón.

En entramados de edificios puede reducirse a 3 y hasta 2 cm. la distancia de las barras al paramento; pero en puentes sometidos a humedades, cuando no a emanaciones salinas o salitrosas, conviene que esta distancia no sea inferior a 5 cm. en las vigas y a 3 cm. en los forjados.

Ejecución de los tramos.—En cuanto a sus dosificaciones y construcción, conviene tener en cuenta las prescripciones detalladas en los apéndices números 2 y 5 del tomo I, en las que se incluyen las condiciones facultativas para las obras de H. A., y especialmente para los tramos rectos.

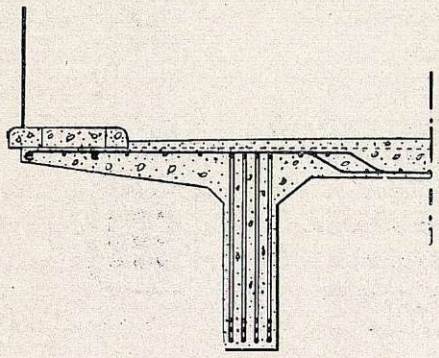


Fig. 12.

Andenes.—Poco tenemos que añadir a lo dicho sobre esto en el capítulo V del tomo III.

Para carreteras y aun para caminos vecinales, el autor prefiere disponer los andenes por encima de la calzada, como en la figura 12,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

pues el aumento de peso muerto de estos andenes es insignificante, y en cambio se facilita la construcción y los forjados trabajan en muy buenas condiciones como cabezas de compresión de las vigas.

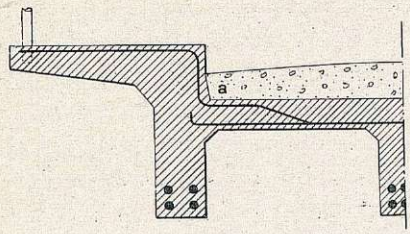


Fig 13.—Disposición viciosa.

Muchas veces se han dispuesto los andenes como en la figura 13, pero es una disposición viciosa, porque entonces las barras del voladizo no quedan bien empotradas y tienden los forjados a abrirse por el ángulo *a* cuando el andén está fuertemente sobrecargado.

En tramos de ferrocarriles se trató primeramente de suprimir el peso muerto del balasto.

La interposición de los largueros dentro de ambas vigas (figura 14 - A), como se hizo algunas veces, dió mal resultado, porque la hinchazón de la madera por la humedad abre el hormigón.

La colocación directa de la traviesa sobre el forjado (fig. 14 - B), que imitando a Zafra preconizó el autor, obliga a sujetar sus extremos con bridas que la experiencia ha demostrado que tenían una delicada conservación, o con bordillos laterales, por lo menos.

Por otra parte, la colocación de todo el balasto sobre el forjado (figuras 14 - C - D) aumenta considerablemente el peso muerto del tramo y lo encarece mucho.

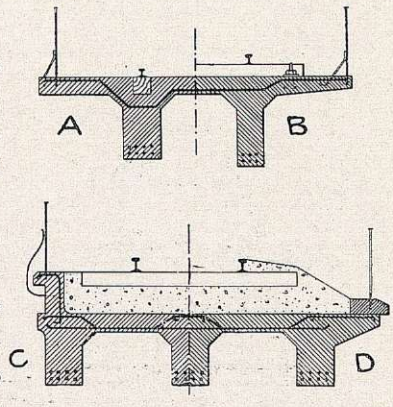


Fig. 14.

La Comisión que el autor presidió, encargada por la Dirección general de Ferrocarriles de estudiar los modelos oficiales para los puentes de vía ancha, se ha inclinado por una solución intermedia, que discutimos en el capítulo III, al ocuparnos de los modelos oficiales para tramos rectos en ferrocarriles (fig. 15).

Dispositivos para dilataciones.—Los tramos independientes de-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ben poderse contraer y dilatar con libertad. Si se moldean a la vez dos tramos inmediatos, se produce indefectiblemente en invierno una grieta transversal sobre el apoyo, según una línea irregular, de mal aspecto.

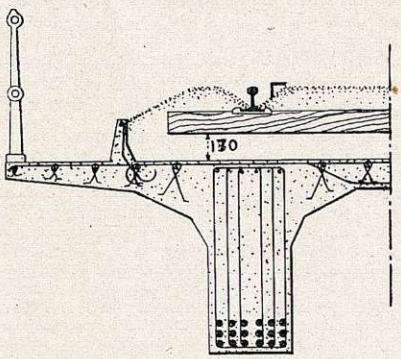


Fig. 15.

Es preferible prevenirla, separando el hormigón de los tramos por una junta de cartón.

Asimismo, el apoyo de las vigas sobre pilas y estribos debe establecerse sobre cartón o, mejor aún, sobre chapas de plomo, si el puente se establece en regiones de temperaturas muy variables.

Estas chapas de plomo pueden tener unos 15 mm. de grueso y sus dimensiones se calculan para que la presión máxima sobre ellas no exceda de 30 kg. cm².

Debemos, sin embargo, consignar que hasta en puentes de 80 metros de longitud, constituídos por tramos independientes de 10 a 15 m. apoyados muchos de ellos sobre pilares de H. A., hemos siem-

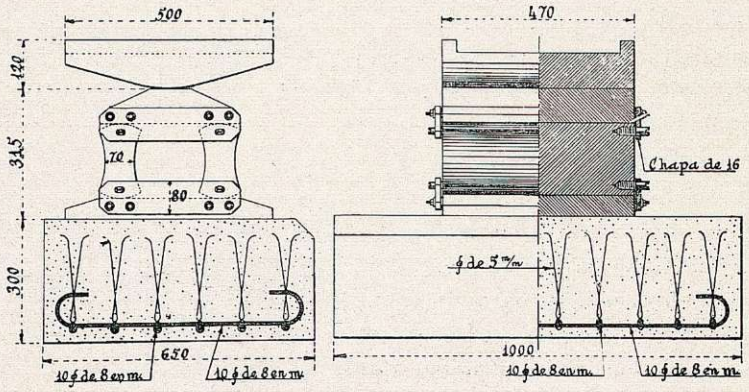


Fig. 16.

pre prescindido de chapas de plomo para su libre dilatación, sin que hayamos observado el menor inconveniente.

No quiere esto decir que sean estos tramos insensibles a los cam-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

bios de temperatura; pero es evidente que sus expansiones o contracciones (que para diferencias de 40° representan bastantes milímetros) *se reparten* en las juntas de todos los tramos *independientes*, en vez de *integrarse* en los extremos del puente, *como ocurriría si los tramos fueran continuos.*

Cuando los tramos tienen luces superiores a 20 m., es mejor aún disponer en sus extremos aparatos de dilatación de los tipos corrientes para tramos metálicos; Zafra los proyectó como la figura 16 para sus modelos de tramos para carretera.

Pero, para evitar su oxidación y hacerlos eficaces, se precisa pintar y engrasar con frecuencia estos aparatos de dilatación (1).

§ III.—EJEMPLOS DE TRAMOS RECTOS CON TABLERO SUPERIOR Y VIGAS RECTAS DE ALMA LLENA

En nuestros treinta años de constructores hemos intervenido en más de trescientos tramos de esta clase, con luces comprendidas entre 10 y 25 m., tanto para carreteras como para ferrocarriles de vía estrecha y vía ancha (2).

En Marruecos hemos proyectado de este tipo *todos los puentes* de las carreteras y ferrocarril de Ceuta a Tetuán y de Tánger a Alcázar, siempre con excelente resultado técnico y económico.

Reseñaremos algunos de los puentes más característicos.

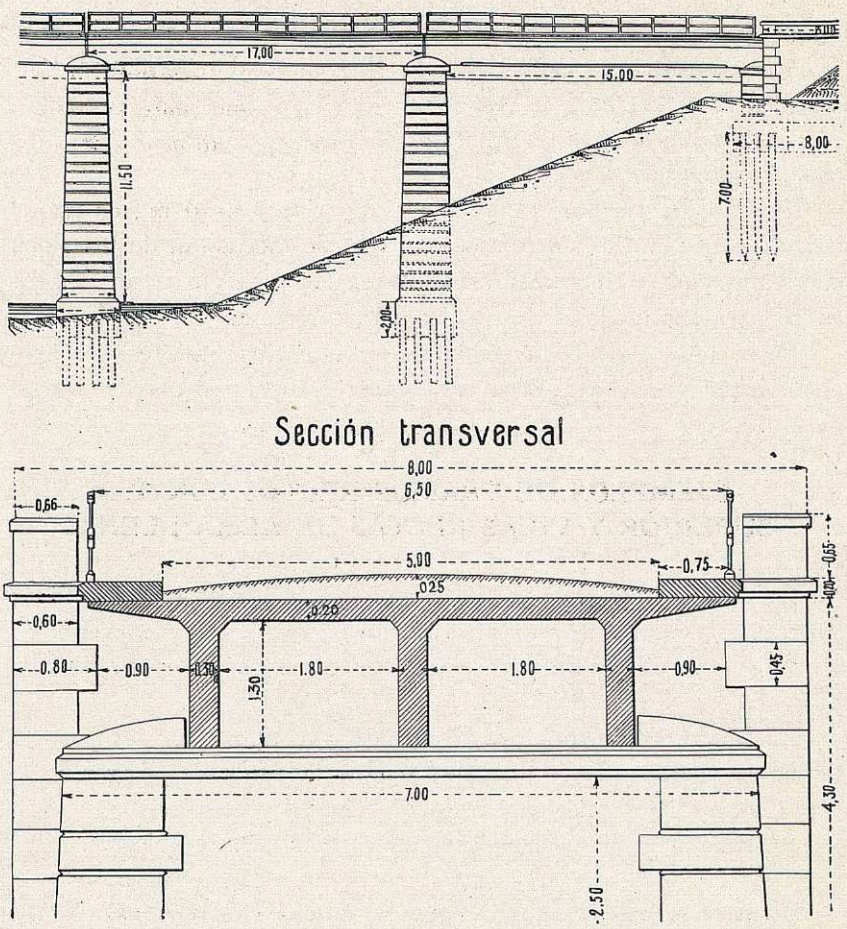
Puentes en Alcazarquivir sobre el Lucus (Marruecos).—Para la carretera en Tánger y Rabat y el ferrocarril de Tánger a Fez se han construído en Alcazarquivir y sobre el río Lucus dos puentes de tramos rectos.

Los tramos del puente carretero son cinco, de 15 m. de luz

(1) Puede evitarse la oxidación con rodillos de uralita, análogo a las articulaciones imaginadas por el ingeniero Sánchez del Río. (Véase capítulo V.)

(2) Citaremos entre ellos un tramo en el canal de Reguerón (Murcia) y dos puentes de varios tramos sobre el río Jarama para la Azucarera de Madrid, y sobre el río Martín, en Tetuán (Marruecos); han sido totalmente recubiertos por crecidas extraordinarias, sin el menor inconveniente para su estabilidad.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO



Figs. 17 y 18.—Puente sobre el Lucus en Alcázar (Marruecos).

(figuras 17 y 18); los del ferrocarril son cuatro, de 18 m. de luz, para vía de 1,50 m. (fig. 19).

Las disposiciones de vigas y armaduras son las antes descritas, que preconizamos a nuestros ingenieros. Para no exagerar la altura de la rasante se pusieron tres vigas en los tramos carreteros (1).

(1) El proyecto del puente carretero es de D. Cayetano R. Noguera, ingeniero de la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles, que los construyó.

El puente del ferrocarril cuya Compañía dirige el autor, es de D. José Sanz Soler, y fué construído por D. José María Escriña.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

A pesar de que en aquel emplazamiento parecían estar indicados tramos en arco y hasta un gran arco, nos decidimos en ambos casos por tramos rectos, porque las crecidas del río alcanzan y a veces

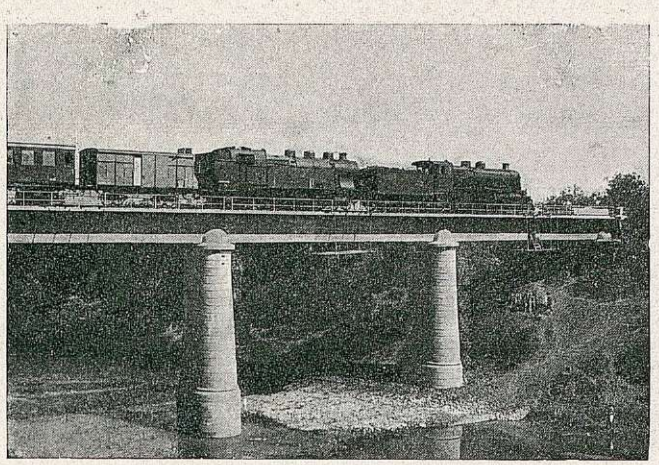


Fig. 19.—Puente sobre el Lucus.

superan los bordes superiores de las márgenes; aun así, con esos tramos rectos tan elevados hubo crecidas que casi mojaron las cabezas inferiores de las vigas.

Viaducto de Vallcarca (Barcelona).—Consta de cuatro tramos de luz variable, formados por dos estribos oblicuos y tres pilas normales al eje del puente; la luz de los tramos varía entre 22,40 m. y 27,60 m.; la de los dos tramos centrales es de 25 m. (figs. 20 y 21).

Las pilas tienen una altura comprendida entre 9 y 10 m.

Cada tramo está constituído por una *viga tubular múltiple,* formada por 8 vigas en doble T, de alma llena y con las cabezas unidas formando un tablero superior y otro inferior. El ancho de esta viga tubular es de 10,75 m.

El forjado inferior, aunque se utiliza como arriostramiento de las vigas, debe haberse proyectado para los efectos estéticos, ya que están estos tramos sobre una calle de bastante circulación (1).

(1) Autores del proyecto: D. Eduardo Ferrer Puig, arquitecto, y D. Lorenzo Matéu, ingeniero industrial. Sociedad constructora: Construcciones y Pavimentos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

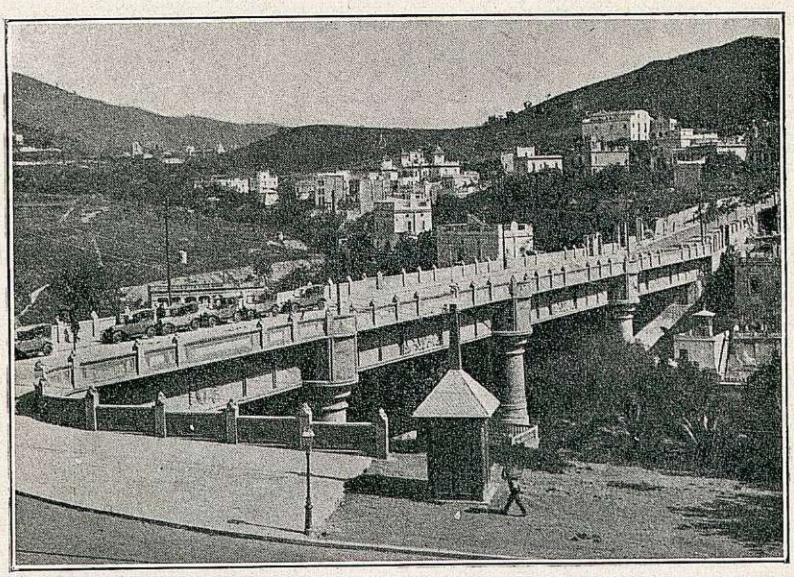


Fig. 20.—Viaducto de Vallcarca (Barcelona).

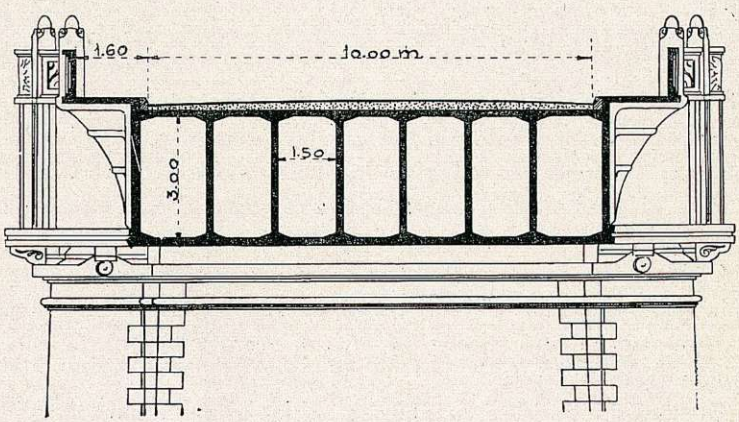


Fig. 21.—Viaducto de Vallcarca.

Puente para el ferrocarril de Lérida a Saint-Girons.—Próximo a Lérida construímos dos tramos rectos *muy oblicuos,* de 20 m. de luz, para esta vía transpirenaica, de ancho normal español (fig. 22).

Para reducir las armaduras de las vigas a 16 barras de 36 milí-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

metros hubo que dar a dichos nervios una altura de 2,73 m., o sea 1/7,3 de la luz, altura y cuantía algo excepcionales (1).

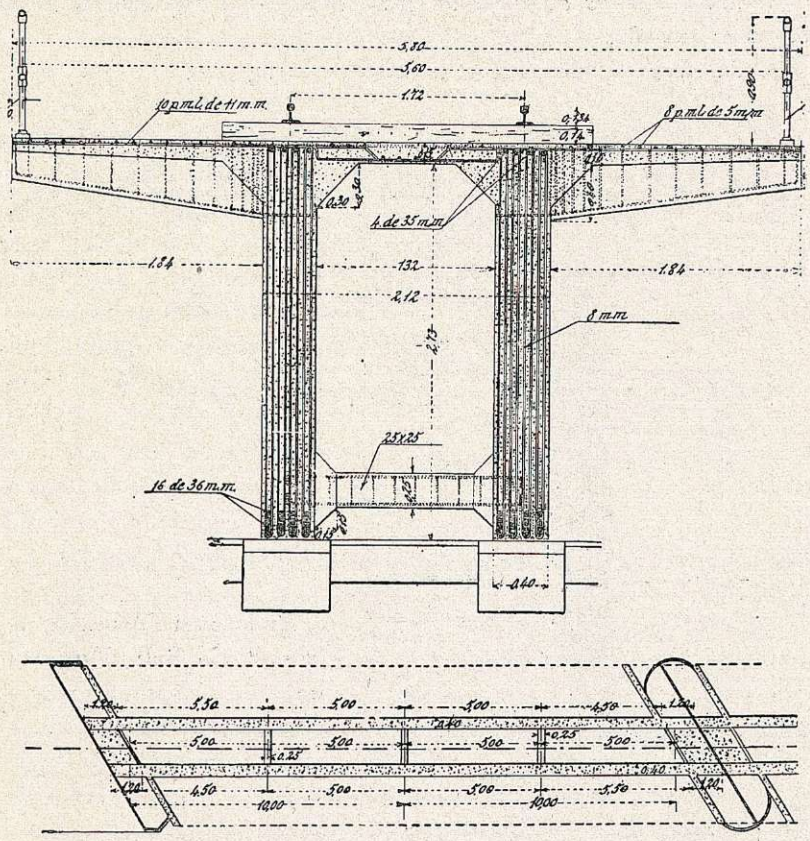


Fig. 22.—Puente para el ferrocarril de Lérida a Saint-Giróns.

Puente sobre el río Zújar (Badajoz).—Para la carretera de Castuera a Navalpino (2).

(1) Proyecto del ingeniero D. Cayetano R. Noguera para la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles, que construyó dicho puente. Se calculó en 1918 para locomotoras de 83 toneladas con ejes de 17 toneladas, siendo así que la nueva Instrucción de Mendizábal admite ejes de 22 toneladas.

(2) Se adjudicó, mediante concurso de proyectos y ejecución, a la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles, que presentó un proyecto suscrito por su ingeniero, D. Cayetano R. Noguera, reformado posteriormente por el ingeniero D. Francisco de Alvear.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Ocho tramos independientes de 27,50 m. de longitud y 25 m. de luz.

Son los tramos de alma llena de mayor luz construídos hasta ahora en España.

Cada tramo lleva dos riostras inferiores (fig. 23).

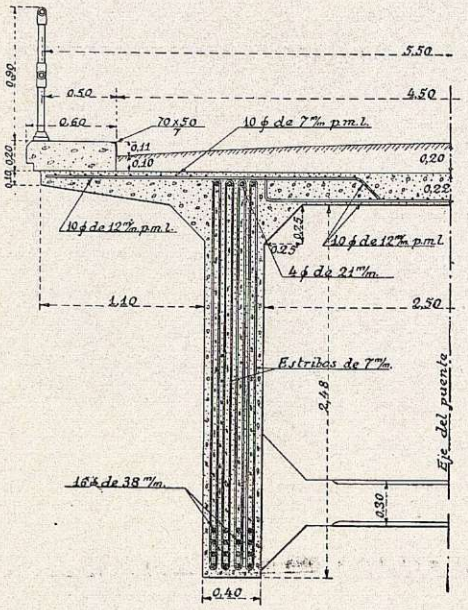


Fig. 23.—Puente sobre el Zújar.

Han resultado más económicos que con vigas aligeradas y se han comportado perfectamente en las pruebas, con flechas que no excedieron de 4 mm., o sea 1/6000 de la luz.

El transporte de las barras, de 38 mm. y 28 m. de longitud, ocasionó algunas dificultades. Las crecidas súbitas del río destruyeron dos veces las cimbras de uno de los tramos.

Puente en Tucumán, sobre el río Sali (Argentina) (1).—Es un interesante ejemplo de vigas consolas formando *cantilever*.

Su longitud, de 380 m., se ha dividido en 19 tramos rectos de 20 m. de luz.

Son estos tramos de tres tipos diferentes (fig. 24).

Tipo A.—Tramos extremos de 24 m. de longitud, con una ménsula o consola en voladizo de 4 m.

Tipo C.—Tramos impares menos los extremos, de 28 m. de longitud, con dos ménsulas.

Tipo B.—Tramos pares, de 12 m. de longitud, que se apoyan en las ménsulas de los tramos A y C.

Cada tramo está constituído por 11 vigas de 0,38 m. de grueso y 1,20 m. de altura, que aumenta a 1,80 m. en los apoyos.

(1) Detalles, en *La Ingeniería* (revista técnica de Buenos Aires), año 1928, pág. 513, por el ingeniero J. M. Zavalla Carbó.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Su forjado, que es una losa de 0,15 m. con doble armadura de 12 mm. y barras de repartición de 8 mm., solidariza las vigas por su parte superior, *pero sólo en la parte central de los tramos,* pues con

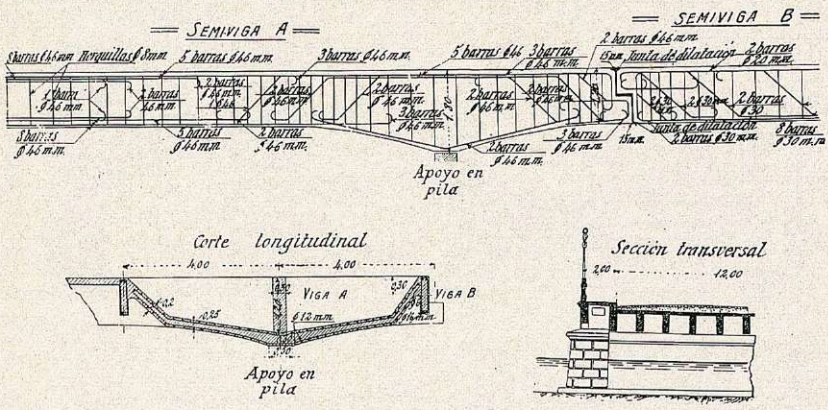


Fig. 24.—Puente de Tucumán.

los cuatro metros a cada lado de los apoyos la losa desciende hacia el borde inferior de las vigas, en concordancia con la inversión de momentos flectores sobre las pilas. (Véase corte longitudinal.)

Esta original disposición de *cantilever* permite alguna economía en los tramos pares, cuya luz queda reducida a 12 m., pero cree el autor que el aumento de gasto de las ménsulas compensará aquella ventaja.

Puente sobre el río Salt, en California (1).—No tenemos noti-

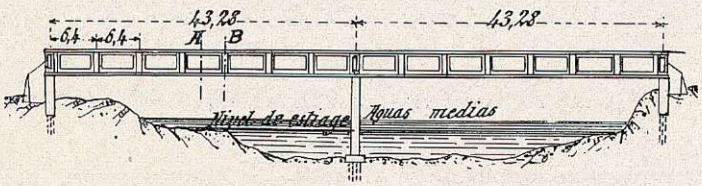


Fig. 25.—Puente sobre el Salt.

cia de ningún otro puente de tramos rectos de mayor luz que la de las vigas de esta obra (43,28 m.), representada en las figuras 25, 26 y 26 bis.

(1) Detalles, en *Engineering News-Record,* 26 de febrero de 1920.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Se calculó para una sobrecarga estática de 342 kg. por metro cuadrado y para un cilindro de 15 toneladas.

Se sustituyeron los aparatos de dilatación por planchas de asfalto.

Para reducir el peso muerto de esas enormes vigas, se redujo

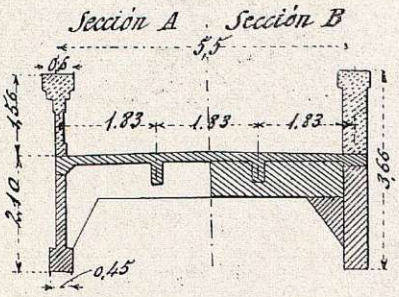


Fig. 26.

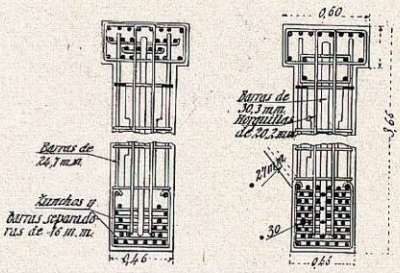


Fig. 26 bis.—Armaduras de las vigas por A y B de fig. 25.

su espesor en sus zonas centrales; aun así, el número de barras que necesita en las dos cabezas es muy considerable.

El autor de este proyecto justifica tan anómala disposición asegurando que su presupuesto (25.250 dólares) resulta inferior a las soluciones en arco, lo que no es extraño por la flojedad del lecho del río en que se cimientan los apoyos con pilotes, lo que encarecería los estribos si hubieran de resistir los empujes oblicuos de unos arcos.

Pero no parece dudoso que podría obtenerse una solución más barata aumentando dos pilas intermedias para obtener cuatro tramos de 21,64 m., *con tablero superior,* que es la solución óptima, constructiva y económicamente.

§ IV.—VIGAS ALIGERADAS CON TABLERO SUPERIOR

Disposiciones empleadas.—Cuando los tramos rectos independientes tengan luces superiores a 25 m. en carreteras y a 20 metros en ferrocarriles, las vigas macizas alcanzan alturas y espesores considerables; su hormigón sólo trabaja como envolvente de las barras y horquillas; su peso muerto excesivo exige por sí solo grandes secciones de acero; resultan más caros que los tramos en arco.

Pero cuando los lechos de los ríos ofrecen poca resistencia y no

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

convenga someter los cimientos a las grandes y variables presiones correspondientes a los empujes oblicuos que en los apoyos de los arcos determinan las sobrecargas desiguales y sobre todo las móviles, debe procurarse proyectar puentes de tramos rectos, que sólo ejercen reacciones verticales.

Pero *entonces hay que aligerar las vigas* para reducir su peso muerto.

La disposición primera que imaginó nuestro malogrado compañero D. Juan Manuel de Zafra, en 1908, fué la de triangular las vigas (fig. 27 - A) con montantes comprimidos y diagonales estiradas.

Posteriormente se invirtió la triangulación en muchos puentes, sometiendo a compresión las diagonales y a extensión los montantes (fig. 27 - B).

Por último, pueden también suprimirse las diagonales con arreglo al tipo del profesor Vierendeel (fig. 27 - C).

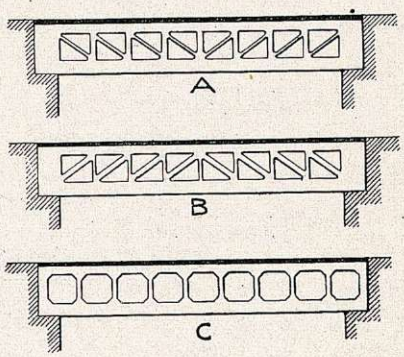


Fig. 27.

Puentes de los Ferrocarriles Suburbanos de Málaga. — Los primeros tramos, que sepamos, construídos con vigas aligeradas, son los de esta Compañía de Ferrocarriles, que en 1907 había adoptado para sus tres líneas de Málaga a Vélez, Coín y Fuengirola dos únicos tipos de puentes en tramos rectos de H. A. de 10 y 26,40 m. de

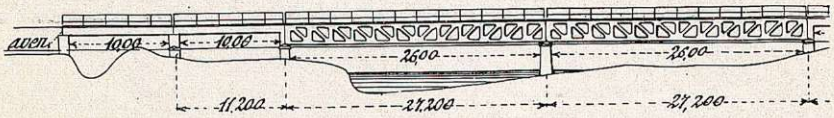


Fig. 28.

luz, ambos con tablero superior, encomendando sus proyectos al ingeniero Sr. Zafra.

La disposición adoptada por éste (figs. 28, 29 y 30) se aplicó en un gran número de tramos independientes, con éxito completo, de 1908 a 1912.

Zafra supuso que las armaduras trabajarían como un sistema

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

isostático, y admitió la hipótesis consiguiente de la articulación de las barras en todos los nudos.

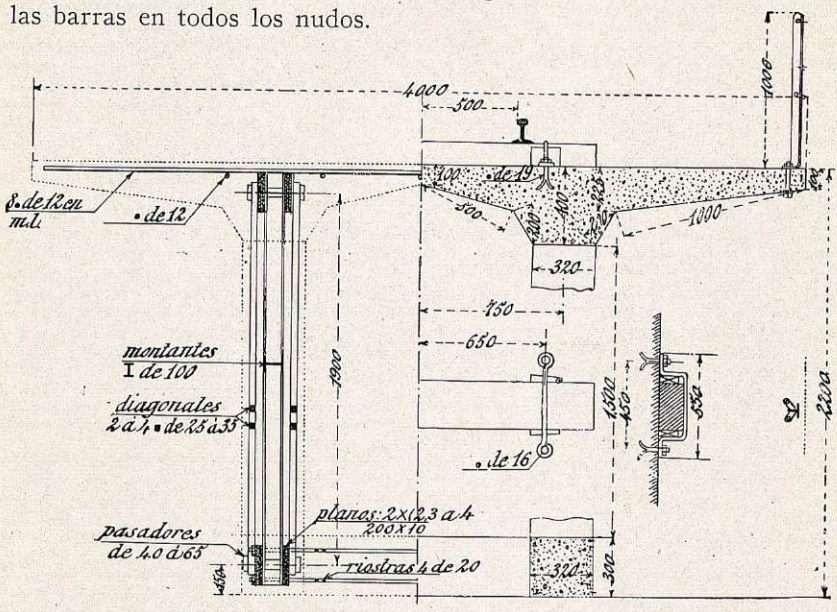


Fig. 29.

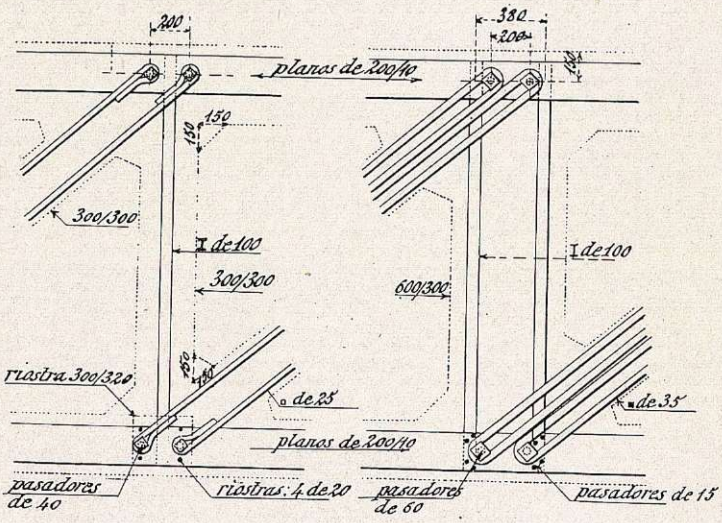


Fig. 30.

Otra originalidad de estos tramos consiste en la sustitución de los aceros redondos, generalmente empleados por otras secciones.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En los montantes comprimidos puso viguetas de doble T; en las cabezas inferiores, aceros planos yuxtapuestos de 200 × 10; en las diagonales se emplearon cuadradillos, fuertemente enganchados a los montantes.

El éxito obtenido en la prueba de estos puentes (1), que por su luz excepcional en aquella época (1910), y aún más por la circunstancia de ser para ferrocarriles, en los que no había entonces sino modestos y contadísimos ejemplos, contribuyó a que la Dirección de Obras públicas aceptara parecidas disposiciones para los modelos oficiales de puentes para caminos vecinales y carreteras, para los tramos rectos de 25 m. de luz en adelante, proyectados también por Zafra.

Pero ya en estos modelos, que describimos en el capítulo III, el Sr. Zafra admitió los montantes estirados y diagonales comprimidas, y substituyó por redondos los hierros en doble T, los cuadradillos y los flejes de la cabeza superior.

Puente de Serradilla sobre el Tajo (Cáceres).—Este puente, costeado por el Ayuntamiento de Serradilla, consta de tres tramos

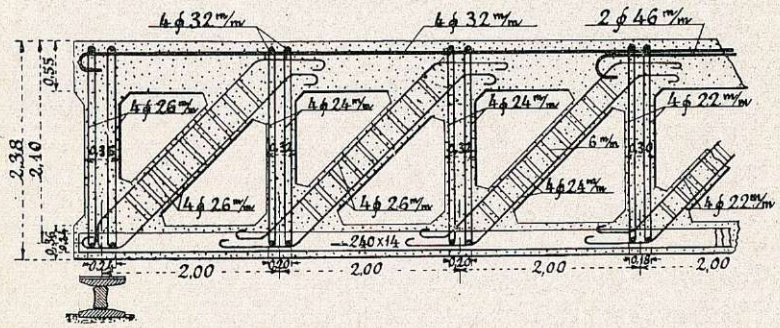


Fig. 31.—Puente de Serradilla.

rectos: uno central, de 32 m., con vigas aligeradas, y dos tramos laterales con vigas rectas de alma llena.

El tramo central es de celosía, tipo Howe, de montantes estira-

(1) Descritos con detalle en la *Revista de O. P.* de 10 de noviembre de 1910.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

dos y diagonales comprimidas (figs. 31 y 32), que, como se ve, es muy parecido a los modelos oficiales de Zafra que acabamos de citar.

Aunque el tablero está a 23 m. sobre el estiaje, el nivel de las crecidas máximas en aquel emplazamiento queda sólo a un metro por debajo del plano inferior; ésta es la razón por la que fué preferida esta solución a la de arcos, que también resultaba más cara.

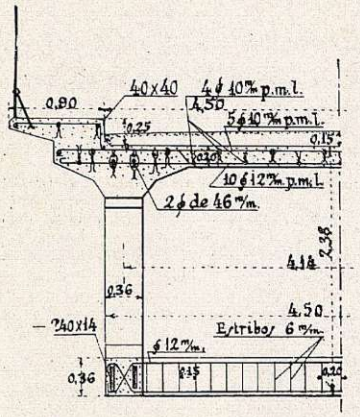


Fig. 32.

El coste del puente fué sólo de 230.000 pesetas, y en las pruebas el tramo central sólo dió 7 mm. de flecha (1).

Puente de Alfonso XIII, próximo a Larache, sobre el Lucus (Marruecos).—El 23 de enero de 1929 se abrió al tránsito este importante puente (fig. 33), que era el único que faltaba en la carretera de Tánger a Rabat.

Consta de cinco tramos de luces teóricas, comprendidos entre 28 y 32,65 m.

La rasante del puente afecta la forma de un arco de circunferencia tangente a las de las rampas de acceso. La altura que con ello se gana en el centro contribuye a su efecto estético y a facilitar la navegación.

El coste de este puente se aproxima a 1.700.000 pesetas, a causa de vicisitudes imprevistas en los cimientos, que logró vencer la inteligencia y voluntad del ingeniero D. Pascual Aragonés (2).

Defectos de las vigas trianguladas.—El principal defecto es su mayor coste, pues exigen una carpintería perfecta, un gran desperdi-

(1) Detalles interesantes de su construcción, en la *R. de O. P.* de 1929, página 128, por el autor de su proyecto, el profesor D. Enrique Colás.

(2) En la *Revista de O. P.* de 1929, pág. 49, se describen con detalle los incidentes de la construcción. Hubiera sido mucho más económico construir tramos rectos con vigas de alma llena de 18 a 25 m. sobre palizadas dobles de H. A., y así lo había propuesto el Sr. Aragonés; pero no se aceptaron por consideraciones estéticas, algún tanto pueriles, en aquel país y a dos kilómetros de Larache.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cio de madera y dificultades de montaje de barras y apisonado del hormigón.

Se cree obtener economía al reducir los metros cúbicos de hormigón y los kilogramos de hierro, olvidando que al aligerar las vigas, sobre todo en la disposición triangulada que preconizó Zafra, se aumenta en proporción de 15 a 20 por 100, a juicio del autor, con relación a las vigas de alma llena, el coste de los moldes y el de la mano de obra.

Pero, además, obsérvese que no es exacta la hipótesis de cálculo

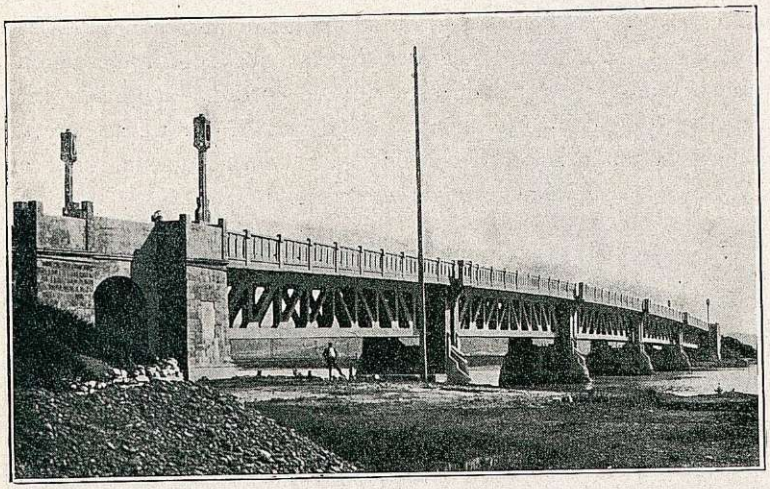


Fig. 33.—Puente de Larache.

que suele aplicarse a estas vigas, suponiéndolas isostáticas. Para ello tendrían que realizarse las articulaciones en los nudos de las vigas, hipótesis errónea, ya que todas las barras que afluyen a dichos nudos quedan aprisionadas dentro del hormigón que las envuelve. Hay, pues, empotramiento y no articulación, y se producen en esos nudos esfuerzos secundarios de torsión no previstos en el cálculo y que pueden ser importantes (1).

(1) El profesor D. Alfonso Peña Bœuf, que comparte nuestra opinión, para evitar aquel error de cálculo propone, en la segunda edición (pág. 235) de su *Mecánica elástica,* un método de cálculo de estas vigas, original y sencillo, que da suficiente aproximación para estimar los empotramientos y leyes de momentos secundarios en los nudos de estas vigas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En todo caso, en varios puentes con vigas aligeradas del tipo triangular, el autor ha comprobado la presencia de grietas muy visibles en los nudos de empalmes, por las que penetra el agua y oxida las barras. Es la razón por la que aconsejamos las debidas previsiones en su cálculo, amén de una minuciosa ejecución en la obra.

Vigas Vierendeel.—Algo más sencillas de construcción son las vigas aligeradas, sin diagonales, del tipo Vierendeel, que pueden calcularse con bastante precisión (1).

Los ingenieros belgas, que preconizan y han aplicado en varios puentes la original disposición de su eminente profesor de la Escuela de Lieja, han vencido las resistencias que se ofrecieron en los primeros años al empleo de este tipo de entramados, y son ya muchísimos los tramos metálicos y los de H. A. en que se han adoptado, sancionando así la exactitud de las teorías que la justifica.

En España también tenemos un interesante ejemplo.

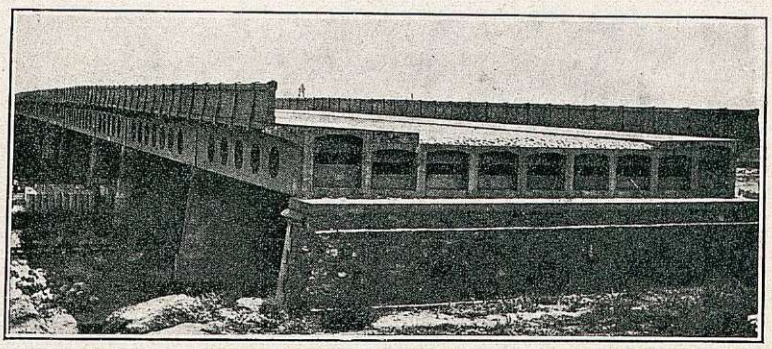


Fig. 34.—Paso superior en la estación de Clot.

Paso superior en la estación del Clot (La Sagrera), Barcelona. Construído por la Sociedad Construcciones y Pavimentos para la Compañía de M. Z. A.

Autor del proyecto: arquitecto D. Eduardo Fernández Díaz.

Vigas tipo Vierendeel.

Nueve tramos independientes de luces desiguales, comprendidas entre 13,61 y 23,61 m., por efecto de la situación de las vías

(1) Cuyo método de cálculo explica D. Alfonso Peña en su citada *Mecánica elástica,* segunda edición, pág. 227.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de la estación, que atraviesa en paso superior y obliga a la desigualdad de los tramos.

La fotografía (fig. 34) representa la sección de la estructura de

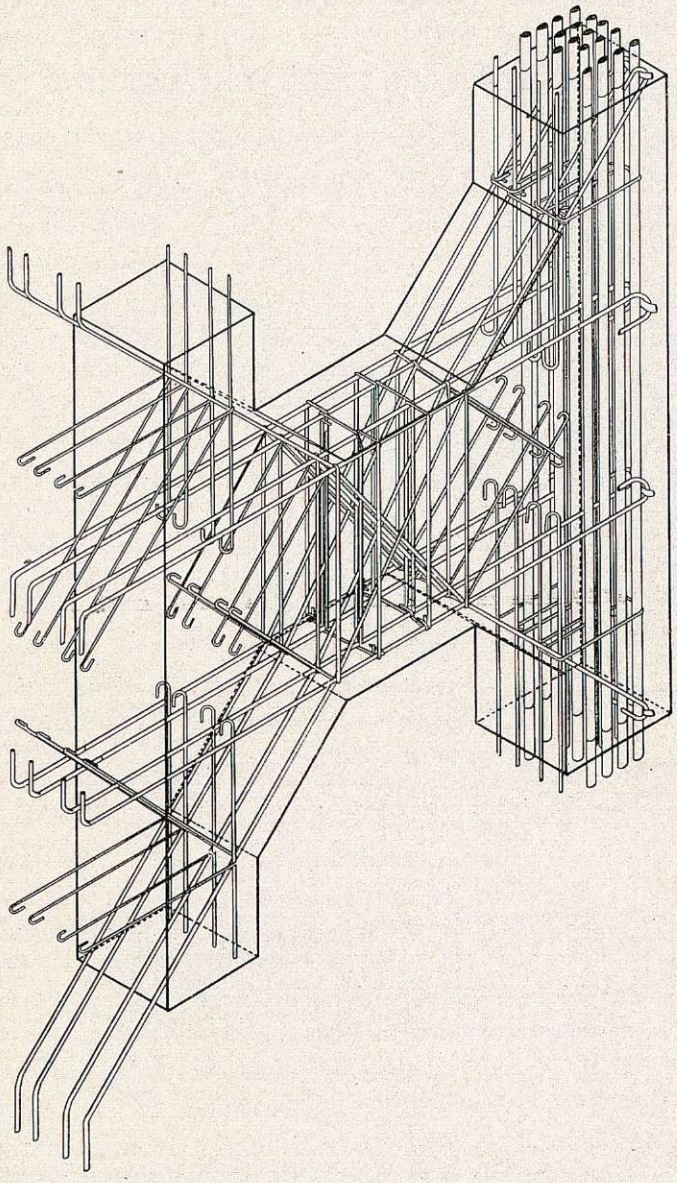


Fig. 35.—Paso superior del Clot (Barcelona).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

20 m. de ancho entre barandilla, antes de construído el terraplén de acceso.

La figura 35 representa la perspectiva isométrica de las armaduras de los montantes, que, como se ve, resultan bastante complicadas.

§ V.—DE TABLERO INFERIOR O INTERMEDIO (1)

Cuando la altura de rasante no permite disponer las vigas debajo del tablero, es necesario bajar éste, ya poniéndolo en la parte inferior de las vigas, como en la figura 37 - A - B - y C, o ya en la parte intermedia, si la rasante lo permite (fig. 37 - D).

Tablero.—Cuando se trata de un camino vecinal de simple vía, puede estar constituído el tablero por un forjado de 2,50 a 3 m. de luz; se puede además poner un andén en voladizo (fig. 37 - A).

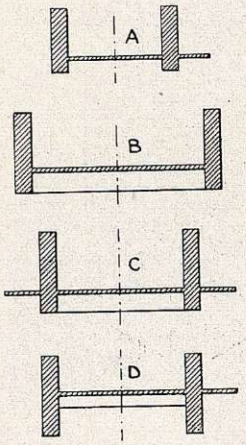


Fig. 37.

Pero para carreteras o ferrocarriles en los que las distancias de las vigas excedan de 4 m., hay que poner viguetas transversales, como en las figuras 37 - B - C y D.

Los andenes en voladizo, por fuera de las vigas, permiten reducir la sección y peso de las viguetas.

Vigas.—En estos tipos de vigas el forjado del tablero *no contribuye a la resistencia de aquéllas,* como ocurre en los tramos de tablero superior que antes examinamos, en los que el forjado actúa como cabeza de compresión de las vigas.

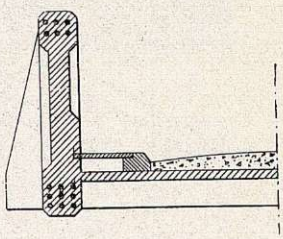


Fig. 38.

Tenemos, pues, que suplir aquella deficiencia con fuertes armaduras en la cabeza superior (fig. 38), y como entonces el conjunto de la viga tiene un peso muerto considerable, se anulan en gran parte las ventajas del H. A.

(1) En el tomo I, pág. 234, detallamos un ejemplo de pontón de este tipo.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Podrá, pues, ocurrir en algunos casos, que puedan resultar más económicos los tramos de tablero inferior enteramente metálicos, sobre todo en ferrocarriles, en que el tablero puede estar constituído por un ligero entramado al aire de viguetas y largueros; habrá, sin embargo, que tener en cuenta, en carreteras muy principalmente, la ventaja apreciable de la economía de conservación.

Respecto a disposiciones exteriores de las vigas, pueden ser muy variables, y presentamos algunos ejemplos.

Puente de Dueñas sobre el Pisuerga (Palencia).—Para sustituir a un puente colgado de 72 m. de luz, construído en 1845, se han construído cuatro tramos de tablero inferior y vigas con cabeza superior encorvada (fig. 39), solución que resultó más económica que la de otro puente colgado, o tramos exclusivamente metálicos.

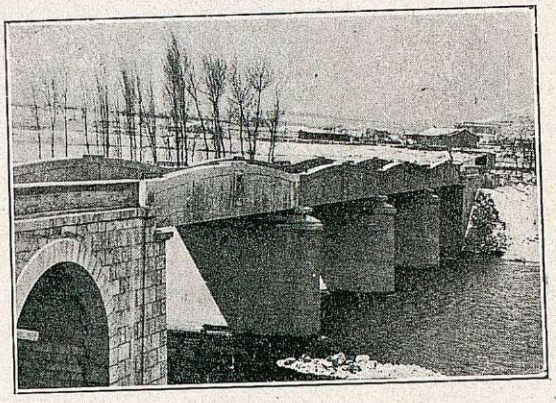


Fig. 39.—Puente de Dueñas.

Los cuatro tramos son iguales, de 18,54 metros de luz.

Las vigas laterales (fig. 40) sostienen 16 viguetas transversales. Costó este puente 382.000 pesetas, con pilas, un arco de aligeramiento en el estribo y barca de paso y defensa de márgenes (1).

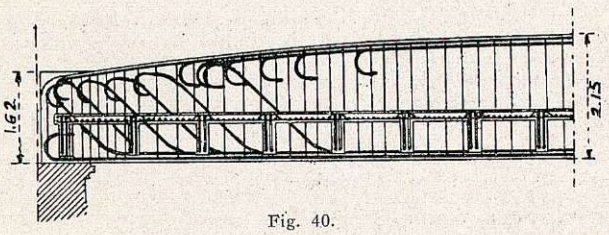


Fig. 40.

(1) Proyecto del ingeniero jefe D. José María Sáinz, que escribió un detallado artículo sobre esta obra en la *Revista de Obras Públicas,* 1928, pág. 236.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Puente sobre la Rambla del Obispo (puerto de Almería).—Autor del proyecto: ingeniero D. Eusebio Elorrieta.

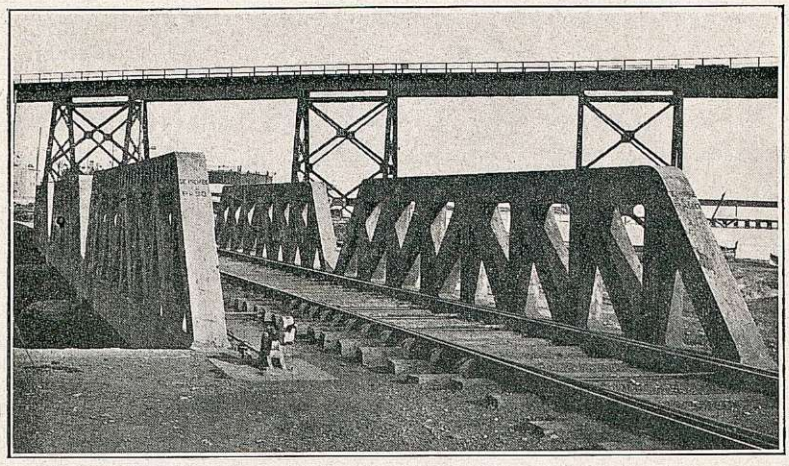


Fig. 41.—Puente de la rambla del Obispo.

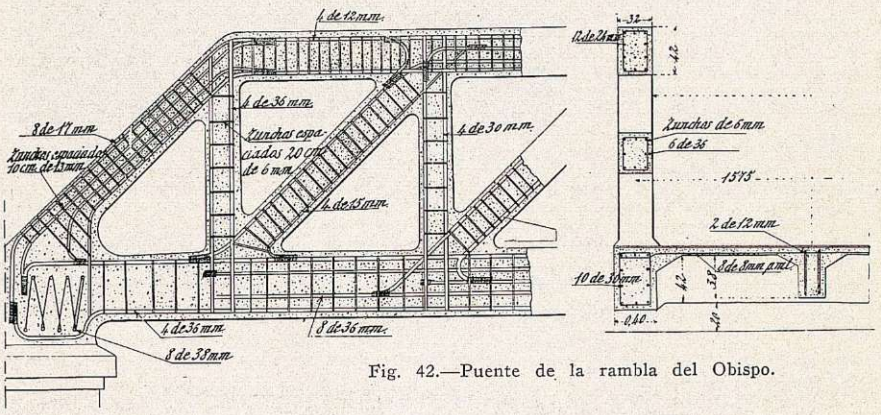


Fig. 42.—Puente de la rambla del Obispo.

Construído en 1921 para unir la estación del ferrocarril con el puerto.

Consta de tres tramos oblicuos de 15 m., sobre pilas cimentadas por aire comprimido (figs. 41 y 42).

Las barras redondas, exclusivamente empleadas para las armaduras, se han enlazado con fuertes ligaduras de alambre.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Puente sobre el Garona (Valle de Arán).—Construído por la Mancomunidad de Cataluña.

Tramo de 19 m. con *aceras voladas* de un metro; calzada

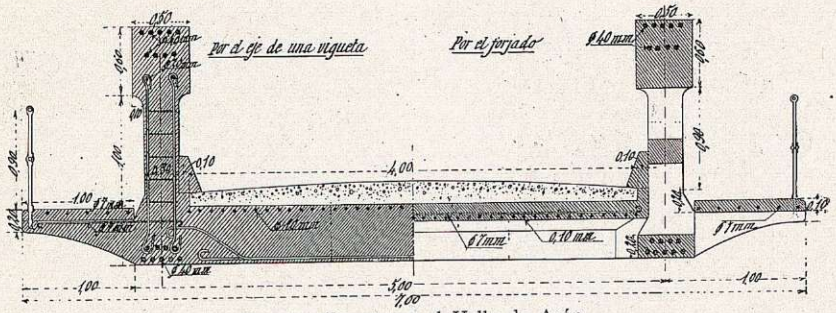


Fig. 43.—Puente en el Valle de Arán.

de cuatro metros; grueso de vigas, 0,50 (figs. 43 y 44).

Proyecto de D. Joaquín Camón, reformado por don Félix Ferrer.

El tramo costó 30.719 pesetas.

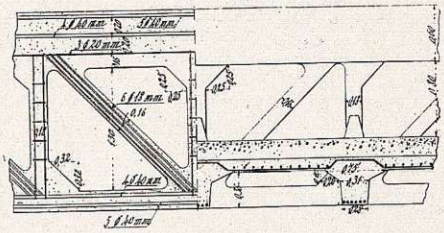


Fig. 44.—Puente del valle de Arán.

Esta disposición de aceras voladas es económica, porque reduce la luz del tablero de la calzada, y podría permitir la supresión de las viguetas, ya que para 4 m. de luz puede ponerse un simple forjado para la calzada.

Puente de Unquera sobre el Deva (Santander).—Para la carretera de segundo orden de Torrelavega a Oviedo se construyó un puente con tres tramos de 26,50 m. de luz (figs. 45 y 46).

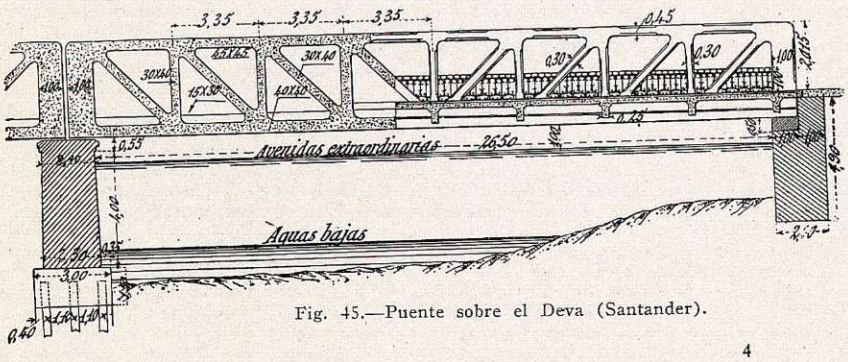


Fig. 45.—Puente sobre el Deva (Santander).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

El ancho entre bordes interiores de las vigas laterales es de 6 m., que se distribuyen entre dos andenes interiores de 0,75 y una calzada de 4,50 m.

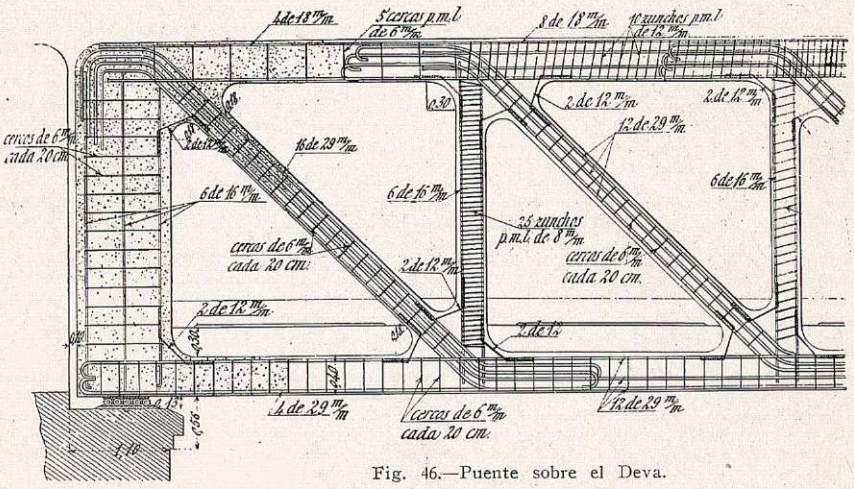


Fig. 46.—Puente sobre el Deva.

Puente de la calle de Lafayette (París).—Con motivo de considerables ampliaciones de la estación del Este, en París, se presentó el difícil problema de un paso superior a las vías, con dos tramos muy oblicuos, cuyas luces debían alcanzar 76,84 y 71,86 m. entre ejes.

El ancho libre del puente debía ser además de 19,50 m., y por debajo de su plataforma debían pasar todas las canalizaciones que corren a lo largo de la calle de Lafayette.

El ingeniero M. Caquot lo realizó con una solución original y bien proporcionada: mediante dos enormes vigas laterales y aligeradas de 10,40 m. de altura a 20,40 m. de distancia, sosteniendo un tablero inferior (figuras 47 y 47 bis).

El entramado del tablero está constituído por viguetas a 2,49 metros de distancia y cuatro largueros longitudinales LL., unos y otros de H. A. y celosía, con objeto de que pueda circularse entre ellos sobre el forjado interior que los une, lo que permite, no sólo defender el tablero contra los efectos corrosivos de los humos de locomotoras que pasan por debajo, sino soportar todas las canalizaciones de la calle de Lafayette.

Las sobrecargas formidables a que están sometidas las vigas laterales, por la anchura de la calzada y las luces de los tramos, obligó

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

al empleo de aceros con resistencia de 45 kg. por milímetro cuadrado y límite mínimo elástico de 30 kg.; aun así, la cantidad de barras es tan elevada en muchos de los nudos, que fueron precisas especiales precauciones de preparación de armaduras y moldes de hormigones.

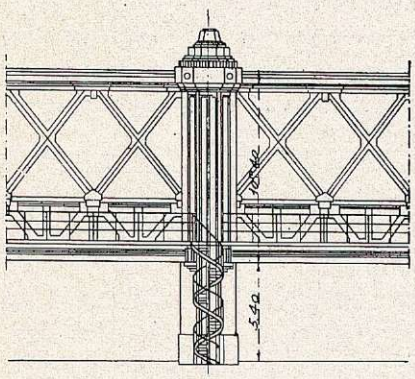


Fig. 47.—Puente de la calle de Lafayette (París).

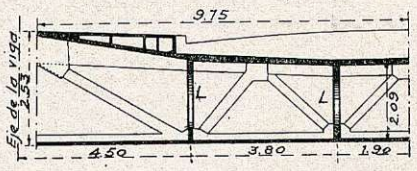


Fig. 47 bis.—Semi sección del tablero.

Esta muy interesante obra, inaugurada en 1928, costó seis millones de francos, y creemos que son los tramos rectos de más luz construídos hasta la fecha (1).

§ VI.—TRAMOS CONTINUOS

Sus ventajas.—Los tramos continuos de H. A., a semejanza de los metálicos, permiten disminuir la sección de las armaduras por efecto de la reducción de los momentos a favor de su empotramiento sobre los apoyos intermedios.

Para que esta hipótesis se realice es indispensable que las pilas no se muevan ni horizontal ni verticalmente. *Hay, pues, que tener la seguridad completa de la inconmovilidad de los cimientos y de la absoluta rigidez de las pilas.*

Cuando se reúnan estos dos factores, los tramos continuos permiten conseguir una economía de metal de un 10 a un 15 por 100 de su peso, y para ello conviene, como en los tramos metálicos, aumentar en un 20 por 100 la luz de los tramos intermedios con relación a la de los extremos,

(1) Véanse detalles de su construcción en *Génie Civil* de 1.º de diciembre de 1928.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Ahora bien: como entonces los efectos de la dilatación son más sensibles en sus extremos, para no acentuarlos con exceso en los estribos terminales del puente, cuando se trata de puentes de longitudes superiores a 60 m., es preferible dividir la luz total en dos o más trozos, cada uno de ellos constituído a su vez por varios tramos continuos, apoyados en sus extremos sobre pilas-estribos, que lleven sus aparatos de dilatación.

Sus inconvenientes.—Los tramos independientes, a ser posible, deben proyectarse de igual luz, lo que permite utilizar los moldes sucesivamente en cada uno de los tramos.

Cuando son continuos, ya hemos visto que conviene darles luces desiguales: de aquí un aumento de coste en los moldes y mayor sujeción en su moldeo, que debe llevarse sin interrupción en todos los tramos solidarios.

Pero sobre todo ofrecen estos tramos continuos un peligro serio, si han de apoyarse sobre pilas cuyos cimientos no ofrezcan una seguridad completa, como son, por ejemplo, las cimentadas con pilotaje, tan frecuente en esta clase de puentes.

Los pilotes siempre están expuestos a un asiento, ya sea por socavación, ya por insuficiencia de hinca; en cuanto se produce el menor asiento de una pila, desaparece la hipótesis del empotramiento absoluto y se deforman y rompen las vigas en su apoyo.

Por último, la continuidad de los tramos acentúa en sus extremos los efectos de la dilatación y obliga a dispositivos complicados y no siempre eficaces.

Así es que serán contadísimos los casos en que puedan convenir los tramos continuos, y como la economía de hierro no es sensible en tramos de 10 a 20 m. de luz, que son los más corrientes, el autor siempre ha preferido construirlos independientes, en los que las dilataciones son poco apreciables (1).

(1) En dos puentes, en Marruecos, nos ha ocurrido que por socavaciones de los pilotes de palizadas, sufrieron éstas asientos de bastantes centímetros. Gracias a la independencia de los tramos, no sufrieron en lo más mínimo al seguir el descenso de los pilares de palizadas. Bastó defender y reforzar los cimientos, levantar con gatos hidráulicos los tramos movidos y recrecer los capiteles en los centímetros asentados. De haber sido los tramos continuos, hubiera resultado grave el accidente y forzosa la reconstrucción total de los tramos movidos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Es el mejor procedimiento para suprimir las indecisiones de cálculo y las dificultades de construcción que se presentan en los tramos continuos.

Sin embargo, en el capítulo VII, cuando nos ocupemos de los apoyos de H. A., detallaremos algunos dispositivos que conviene realizar para el enlace de apoyos y vigas continuas.

§ VII.—**CONCLUSIONES**

El tramo independiente con tablero superior es la solución más económica de puente hasta luces de 25 m. en carreteras y ferrocarriles de vía estrecha, y hasta unos 20 m. en los ferrocarriles de vía ancha.

No deben emplearse vigas continuas sino en aquellos casos en que los cimientos de pilas y estribos estén asegurados contra todo asiento vertical y todo movimiento horizontal.

Si la altura de rasante y el nivel de crecidas no permitiera el empleo de tablero superior, pueden emplearse tramos rectos aligerados con tablero inferior, que en puentes carreteros serán hoy día más económicos en H. A. que con tramos metálicos.

Pero tratándose de puentes de ferrocarril, convendrá comparar los dos procedimientos constructivos, ya que en este caso el tablero metálico no necesita más que el entramado indispensable para las traviesas de la vía.

De los tipos de aligeramiento empleados, el autor prefiere el de reducir los espesores de las vigas en su parte central, adaptado para los modelos para ferrocarriles (véase capítulo III), y en América, para el puente sobre el río Salt, para 43 m. de luz.

Las disposiciones de vigas trianguladas y aun las de vigas de Vierendeel aumentan sensiblemente el gasto de madera y mano de obra.

Conviene reducir las luces de los tramos cuanto lo consientan la altura de rasante y la importancia de los cimientos.

Al ocuparnos de los *Apoyos* (capítulo VII), insistiremos sobre este particular, ya que en este problema *los cimientos mandan.*

Sin embargo, recordamos aquí lo que con alguna insistencia dijimos en el tomo II, e hicimos observar en algunos ejemplos de puentes del tomo III; los ingenieros tienden a adoptar grandes luces, y son

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

muchos los casos en que sería *más económico* aumentar el número de apoyos y de cimientos.

Pero si fuese preciso adoptar luces superiores a 20 m. y no ofreciera confianza el terreno para someterlo a los empujes oblicuos de unas bóvedas o arcos, puede recurrirse a disposiciones especiales aplicables también a grandes luces, que sólo ejercen presiones verticales sobre los apoyos.

Son los *arcos sin empuje,* que estudiaremos en el capítulo VI.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CAPÍTULO II

ARCOS CORRIENTES EMPOTRADOS (HASTA 40 M. DE LUZ)

§ I.—**Disposiciones generales de los arcos.**

Arcos macizos.—Arcos ligeros.—Arcos rígidos.—Arcos con tablero suspendido.—Curvas directrices.

§ II.—**Tímpanos y tableros.**

Tímpanos macizos.—Con aligeramientos.—Con tabiques.—Con pilares.—Dispositivos para las dilataciones.

§ III.—**Armaduras flexibles en los arcos.**

Con redondos longitudinales.—Con redondos zunchados, sistema Considère. Con fundición zunchada, sistema Emperger.—Con armaduras transversales, sistema Freyssinet.

§ IV.—**Armaduras rígidas en los arcos.**

Importancia de las cimbras.—Con viguetas.—Con cerchas armadas.—Armaduras semirrígidas.

§ V.—**Ejemplos de algunos puentes en arco.**

Puente de San Adrián.—De San Giovanni.—De Golbardo (Santander).—De María Cristina (San Sebastián).—De Reina Victoria (Madrid).—Acueducto del Chorro.

§ VI.—**Conclusiones.**

Ventajas de las armaduras rígidas.—Su aumento de costo es aparente.—Otras ventajas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Siguiendo igual clasificación que en nuestro tomo III para los puentes de fábrica, dividimos el estudio para los puentes con arcos empotrados en dos capítulos, según que tengan luces menores o mayores de 40 m.

Algo arbitraria es tal clasificación, aunque sigo el ejemplo de Sejourné, que sólo llama *grandes bóvedas* a las de 40 m. de luz en adelante.

Pero la considero aceptable, pues en la práctica, así como los puentes de luces inferiores a 40 m. se proyectan y ejecutan con dimensiones y sistemas corrientes y experimentados, los de mayor luz pueden exigir disposiciones nuevas y procedimientos especiales de construcción.

Los primeros, hasta pueden someterse a modelos previamente redactados; los segundos exigen proyectos originales perfectamente amoldados a sus circunstancias de ubicación, cimientos y rasantes.

Mantenemos, pues, para los arcos de H. A. igual subdivisión que la que aceptamos para las bóvedas de fábricas.

Empleamos ahora la palabra *arcos* de preferencia a la de *bóvedas* porque los puentes de fábrica están siempre compuestos de bóvedas de fábrica, aun en el caso de ser éstas gemelas, mientras que en los de H. A. en arco, sus bóvedas se adelgazan o se dividen en dos o más arcos, por lo que nos parece más apropiado aplicarles la palabra de *arcos*.

§ I.—DISPOSICIONES GENERALES DE LOS ARCOS

Las disposiciones de estos arcos son muy variables y han seguido desde que, hacia 1880, empezaron a construirse, hasta la fecha una evolución general, que podemos sintetizar por etapas.

Arcos macizos.—En las primeras bóvedas de hormigón armado construídas por Monier se emplearon arcos macizos en toda la anchura de la plataforma; se perseguía entonces no sólo la reducción de espesor de los arcos, sino también el de sus estribos.

Comparando, por ejemplo, las dos bóvedas *A* y *B* de la figura 48, se comprende que la bóveda ordinaria *A* necesita mayor estribo *E* que la de H. A. representada por *B*, con estribo *e*.

La reducción de los espesores de la bóveda restringe el campo

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de acción de las oscilaciones de la curva de presiones, sobre todo bajo el efecto de las sobrecargas móviles.

En cuanto esta curva sale del tercio central de la bóveda, se producen en ésta tensiones en el intradós o en el trasdós; para resistirlas hay que adicionar en esas zonas barras longitudinales inmediatas a ambos paramentos.

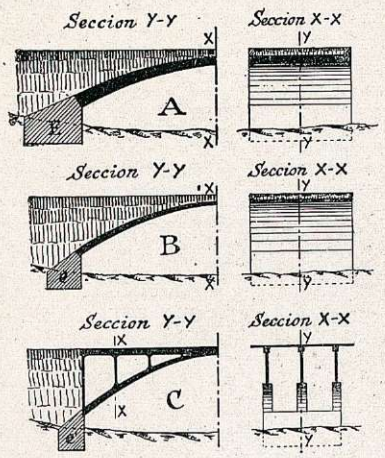


Fig. 48.

Así se obtuvieron los primeros arcos de H. A., y las pruebas realizadas con ellos demostraron su extraordinaria resistencia (1).

Es ya tan evidente la perfecta solidaridad del hormigón y del hierro, que *aun en bóvedas de hormigón ordinario* es frecuente armar el trasdós e intradós con las barras necesarias para resistir a las grandes tensiones que producen, aun en bóvedas gruesas, los cambios de temperatura.

En el tomo III, páginas 250 y 252, lo hemos señalado en los puentes de Spokane y Nicholson.

Asimismo, en nuestros modelos oficiales de arcos *de hormigón en masa para ferrocarriles*, que describimos en el capítulo siguiente, también nos hemos visto obligados a añadir algunas barras en los arranques y clave *para contrarrestar los cambios de temperatura.*

Pero, sin embargo, hemos clasificado estos ejemplos como arcos de hormigón en masa, porque éste es el material dominante, reservando la denominación de arcos de H. A. para aquellos en que las arma-

---

(1) Séanos permitido recordar aquí que en diciembre de 1902, para justificar el tipo de bóvedas de H. A. que proyectamos para un depósito de aguas en Gijón, realizamos ante todos los ingenieros y arquitectos de la provincia de Oviedo unas completas experiencias, que en aquella época resultaron sensacionales. (*Revista de O. P.*, 1903, pág. 125.)

Había tres bóvedas de ensayo de 6 m. de luz, con directriz parabólica, rebajadas al 1/10, que sólo tenían 6 cm. de grueso, calculadas para una sobrecarga uniformemente repartida de 250 kg. por m². Las cargamos desigualmente sin romperlas, hasta con 2.200 kg. y 1.000 kg. por m².

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

duras contribuyen con el hormigón a resistir *a todos los esfuerzos* a que están sometidas las bóvedas.

En los arcos macizos Monier, que antes definimos, si bien se redujeron los espesores de las bóvedas, se rellenaron sus tímpanos con tierra, como en los puentes antiguos, por lo que se anulaban en parte las ventajas de ligereza perseguida.

Arcos ligeros.—Vinieron entonces nuevos constructores, entre otros, Hennebique y el autor, persiguiendo la ligereza de los arcos de H. A., a cuyo efecto copiaron las disposiciones empleadas en los arcos metálicos, según se aprecia en las figuras 49 y 50 (1).

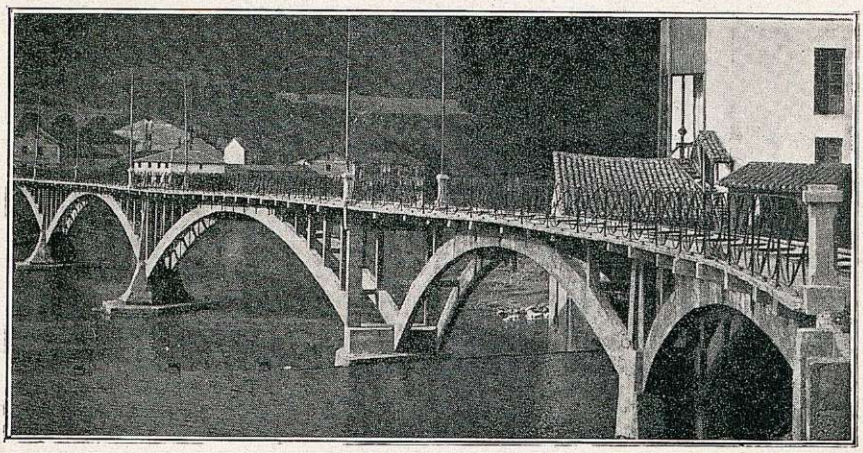


Fig. 49.—Puente de la Peña.

Para ello, sustituímos las bóvedas macizas Monier por arcos aislados; sobre éstos se disponían montantes verticales, sobre los que se apoyó un simple tablero de H. A.

Se redujeron a un mínimo los volúmenes de hormigón y los pesos del acero, disminuyéndose en gran proporción los empujes.

Pero observamos bien pronto que la presunta economía de material estaba en gran parte compensada por el aumento de mano de obra

(1) El puente de la Peña, sobre el Nervión, para el ferrocarril de Bilbao a Durango, fué proyectado, con el sistema Hennebique, por nuestro compañero D. Gabriel Rebollo.

El puente de Golbardo, cuyos detalles daremos más adelante, fué proyectado y construído por el autor.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

y madera producido por el raquitismo de las dimensiones y la complicación de los moldes, que exigen a su vez una perfección de mano de obra y armaduras difíciles de asegurar en la práctica.

Asimismo ofrecen estas disposiciones el defecto de su excesiva elasticidad, acusada por vibraciones sensibles al paso de vehículos y que producen a los peatones sensación de peligro.

Fig. 50.—Puente de Golbardo (Santander).

Arcos rígidos.—Hennebique por un lado y los constructores germánicos por otro, buscaron nuevamente la rigidez de sus arcos con otras disposiciones (fig. 51 - A - B y C).

En el tipo A se consiguió con tabiques longitudinales *t t*, que en los paramentos aparentan tímpanos macizos y planos de mal efecto estético; sobre estos tímpanos y tabiques paralelos se apoya un forjado con o sin viguetas.

El tipo B tiene arcos inferiores arriostrados entre sí por un forjado con todo el ancho del puente; se imita así la disposición de los tramos rectos, en que el forjado es la cabeza de compresión de las vigas; los tímpanos están constituídos por tabiques longitudinales, sobre los que se apoya el forjado del pavimen-

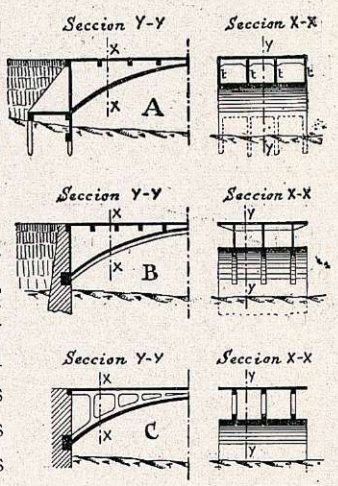


Fig. 51.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

to; los moldes de las cimbras resultan muy complicados y costosos; el aspecto exterior es también pesado.

El tipo C, con la disposición de nervios *por encima de un forjado* continuo en el intradós, es más fácil de construir, pues requiere una cimbra lisa; los tímpanos están substituídos por pilares, sobre los que se apoya el tablero.

El autor, por su parte, evolucionó también, preocupándose, más que de la reducción de materiales, de obtener formas sencillas de económica y fácil construcción, que, en definitiva, resultan más baratas.

Primero en sus puentes de Valencia de Don Juan y María Cristina en San Sebastián, que luego describiremos, volvió a la bóveda robusta y continua, si bien aligerando el tímpano, a la vez que obteniendo la rigidez del tablero por medio de tabiques longitudinales sobre los que se apoyan los forjados (fig. 52 - A).

Pero aquellos tabiques, continuos en toda la superficie de los tímpanos, recuerdan demasiado el aspecto algún tanto ciclópeo de los puentes antiguos (fig. 53).

Nos preocupamos entonces de mejorar el aspecto de los arcos, facilitando al mismo tiempo el desagüe, lo que conseguimos con la disposición (fig. 52 - B) en que los tabiques son transversales al puente, que aplicamos en nuestro viaducto de Barranco Hondo (fig. 54).

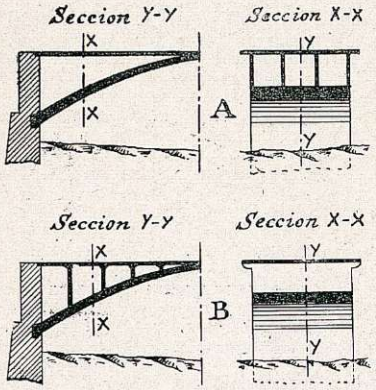


Fig. 52.

El monolitismo y la inconmovilidad de este puente resultaron absolutos: parece un puente de piedra: habíamos pasado de un extremo a otro, pues sobraba ya rigidez.

Cabía una disposición intermedia entre el tipo demasiado ligero de Golbardo y las bóvedas continuas que acabamos de reseñar.

Con motivo del puente Reina Victoria, en Madrid, que luego describiremos, apliqué a los arcos de H. A. la disposición de bóvedas gemelas imaginadas por Sejourné con gran resonancia y éxito,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

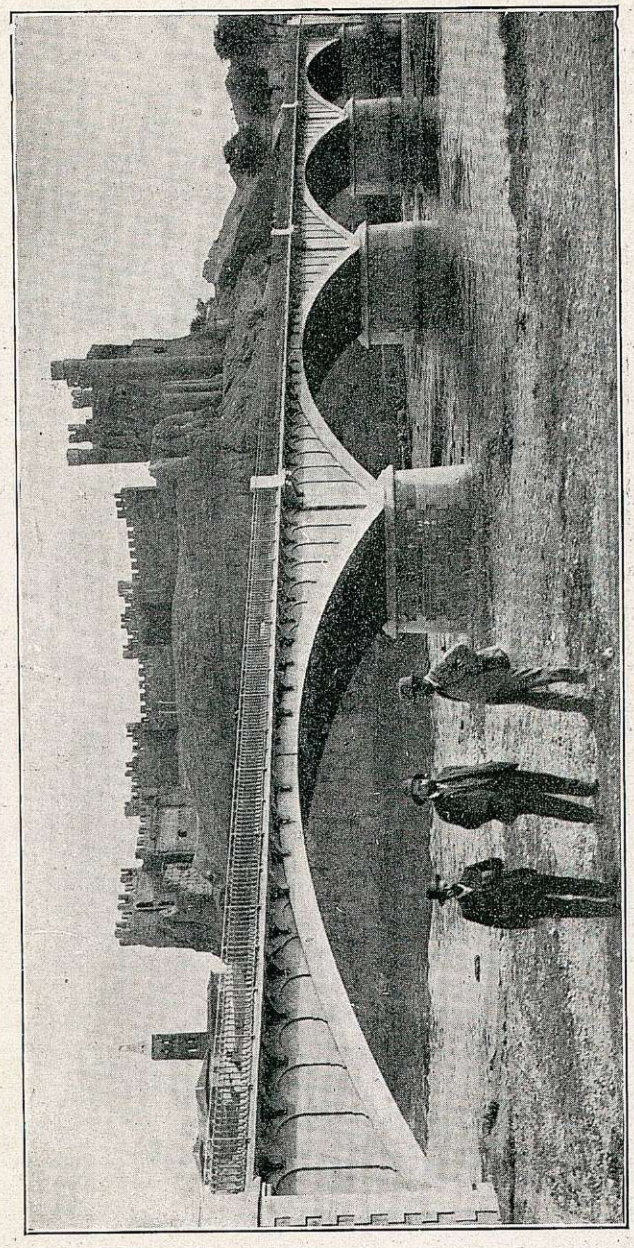


Fig. 53.—Puente de Valencia de Don Juan (León).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

descritas en el capítulo XIII del tomo III, pero en las que Sejourné y sus imitadores sólo aceptan el H. A. para los tableros, mientras que el autor lo aplica además a los arcos y a los tímpanos.

Obtuve así el tipo C (fig. 55), con el que creemos haber conseguido la rigidez de los puentes de fábrica, sin perjuicio de la economía propia del H. A. (1).

Ya no son arcos aislados y movedizos: son casi bóvedas gemelas

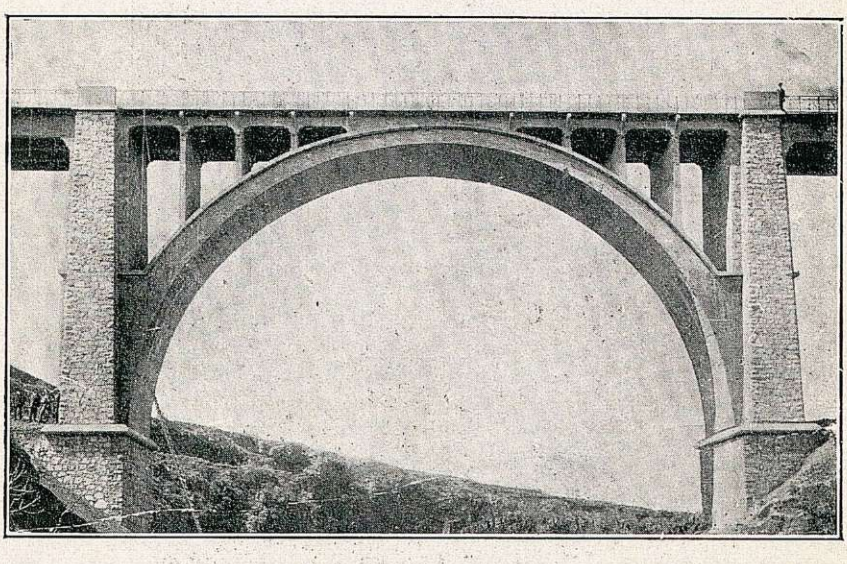


Fig. 54.—Viaducto de Barranco Hondo (Tenerife).

robustas, con masa bastante para amortiguar las vibraciones, en las que no se percibe el paso de los vehículos.

Los tabiques, con sus fuertes largueros y un simple forjado, completan la indeformabilidad del tímpano y plataforma.

Ofrece esta disposición otra ventaja que merece consignarse: *la de que los estribos pueden suprimirse*, pues que los muros en vuelta que casi siempre son necesarios, bastan para resistir a los empujes de los arcos; asimismo las pilas pueden quedar reducidas al ancho de los arcos; se ahorran así volúmenes considerables de cimientos,

(1) Las pruebas del puente Reina Victoria, que demostraron la rigidez pétrea de su disposición, se detallaron en la *Revista de Obras Públicas* de 12 de mayo de 1910.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

como lo hemos conseguido en los estribos del puente Victoria, que luego describiremos, y en las pilas y estribos del puente de San Telmo, en Sevilla (1).

Este ha sido, por fin, el tipo adoptado en nuestros modelos ofi-

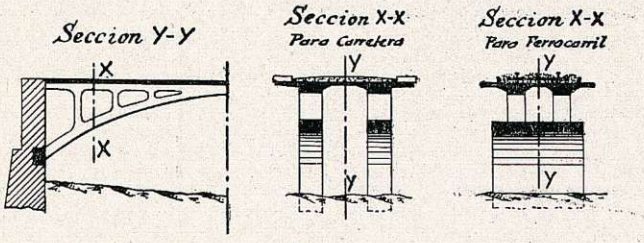


Fig. 55.

ciales para las carreteras aprobados por la Dirección general de Obras públicas que describiremos en el capítulo siguiente, y de cuyo aspecto robusto da idea la figura 56.

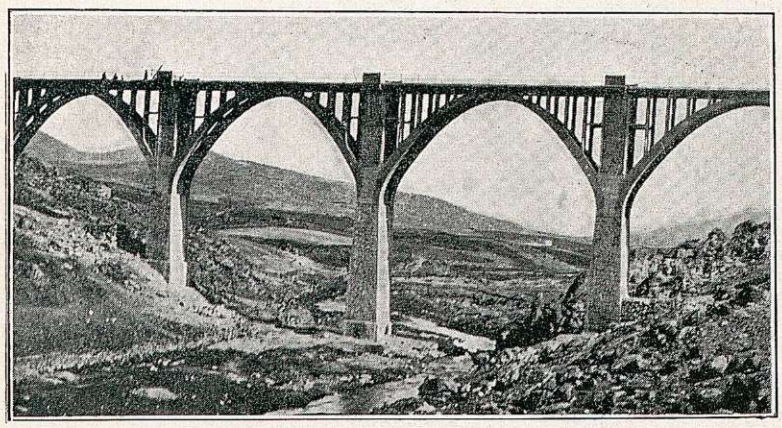


Fig. 56.—Viaducto de Gaznata (Saltos del Alberche).

El gran número de puentes del Estado ya construídos con arreglo a dichos modelos, parece comprobar las ventajas de esta disposición.

Para puentes de ferrocarriles, cuyos modelos hemos también estudiado, y por las razones que enumeraremos en el capítulo III, ha

(1) Descritos en el capítulo IV.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

convenido substituir las dos bóvedas gemelas por un arco central único (fig. 55), sobre el que se apoya directamente la vía por intermedio de los tabiques.

Arcos con tablero suspendido.—Cuando las rasantes son bajas se pueden alcanzar con los arcos rígidos rebajamientos de 1/20 para pasarelas y de 1/16 para puentes carreteros; pero en cuanto el rebajamiento del arco excede de 1/10, necesita, para contrarrestar sus empujes, unos enormes estribos (fig. 57 - A), y lo que es peor aún, las resultantes *R* de aquéllos resultan muy oblicuas.

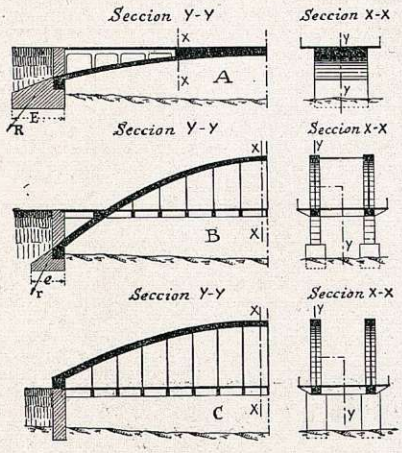


Fig. 57.

Así es que cuando el terreno de las márgenes no ofrezca gran resistencia, es preferible soslayar la dificultad aumentando la flecha de los arcos (fig. 57 - B) y suspendiendo de ellos por medio de péndolas la mayor parte del tablero, con lo que el empuje *e* de los arcos y su oblicuidad se reducen sensiblemente.

Si fuese necesario suprimir totalmente los empujes de los arcos, se atirantan éstos como en (C). Lo detallaremos en el capítulo VI: *Arcos sin empuje.*

Los andenes pueden en estos casos estar en voladizo, sobre ménsulas que sean la prolongación de las viguetas, con lo que se aligera el tablero y pueden reducirse los estribos.

Si los arcos exceden de 25 m. de luz, conviene aumentar su flecha para que sus claves puedan arriostrarse por un tirante que ha de quedar a 4 m. como mínimo por encima de la calzada, para que no sea obstáculo a la circulación de grandes vehículos.

Los arcos con tablero suspendido son principalmente aplicables para luces mayores de 40 m., y presentaremos varios ejemplos en el capítulo IV.

Curvas directrices.—Aunque se han construído muchos arcos con curvas circulares, es evidente que en éstos las tensiones son

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

mayores que en aquellos en que las curvas se aproximan a la envolvente de las curvas de presiones determinadas por las sobrecargas móviles.

La parábola de 2.º grado se aproxima bastante más que el arco de círculo a dicha envolvente, por cuya razón el autor la ha aplicado en muchos casos y propuesto para los modelos de puentes de carreteras y ferrocarriles.

Nuestro compañero D. José López Rodríguez considera preferibles las parábolas de 4.º grado (1).

El ingeniero uruguayo D. Augusto Maggi, en su puente del Centenario sobre el río Negro (2), para diez arcos de 35 m. de luz ha empleado el arco de círculo para la parte central del intradós, abarcando la mitad de la luz, y dos parábolas cúbicas para las partes laterales.

La ecuación de estas parábolas es:

$$y = \sqrt{4,227\,x + 0,137\,x^4 - 0,01106\,x^3}$$

La curva resultante hace bien.

El autor sigue creyendo que, sobre todo para luces menores de 40 m. que ahora examinamos, no tiene la cuestión gran importancia, pues sólo hay diferencias de pocos centímetros entre las parábolas de varios órdenes, mientras que el paso de las sobrecargas móviles determina oscilaciones bastante más sensibles en las curvas de presiones.

§ II.—TIMPANOS Y TABLERO

Análoga evolución que para las bóvedas han sufrido los tímpanos sobre arcos de H. A.

Tímpanos macizos.—Se principió construyéndolos con paredes de fábrica (fig. 58 - A). Después se ejecutaron las paredes la-

(1) Véase su artículo sobre "Las figuras de los arcos de fábrica". *Revista de Obras Públicas* de 15 de julio de 1927.

(1) Detalles en la *Revista de Ingeniería,* de Montevideo, marzo de 1927.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

terales de H. A. (fig. 58 - B). En ambas soluciones se rellena el hueco con terraplén.

Con aligeramientos.—Pronto se aplicaron a los tímpanos iguales aligeramientos que en los puentes de fábrica detallados en el tomo III, capítulo XI, y del que sólo recordamos aquí el de bovedillas transversales de hormigón en masa (fig. 59).

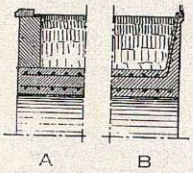


Fig. 58.

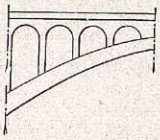


Fig. 59.

Con pilares.—Después se comprendió cuán ventajoso era substituir estas bóvedas por entramados de H. A.

Primero los construímos con simples pilares (fig. 60).

Algunos constructores han creído aumentar la rigidez de los tímpanos triangulando éstos por medio de diagonales (figs. 61 y 62); no creemos en la eficacia de este aditamento, que complica la construcción, afea el aspecto y cuyo cálculo es además incierto (1).

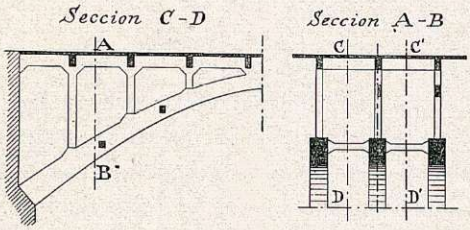


Fig. 60. Fig. 61.

Con tabiques.—El autor prefiere constituir los tímpanos con tabiques verticales, con los que obtiene gran rigidez y perfecta solidaridad entre el arco y el tablero.

Ya explicamos anteriormente que principiamos por hacerlos longitudinales (fig. 52), pero que hoy los disponemos transversalmente al arco (figs. 54 a 56).

(1) Por iguales razones que expusimos en el capítulo I, al criticar las vigas aligeradas con sistemas triangulados.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Se ha generalizado en todo el mundo esta disposición de tabiques transversales (fig. 63), que satisface a la vista, al desagüe y a la rigidez de los arcos (1).

Tableros.—Se proyectan con arreglo al tipo de tímpanos que se haya elegido.

A ser posible debe prescindirse de viguetas y largueros, que por su mano de obra encarecen la construcción.

Pero cuando las distancias de apoyo del forjado exceden de 2,50 m., puede convenir poner nervios en uno u otro sentido, o en los dos, según la disposición de los tímpanos.

En los ejemplos que presentamos al final de este capítulo veremos algunas disposiciones de entramados y armaduras.

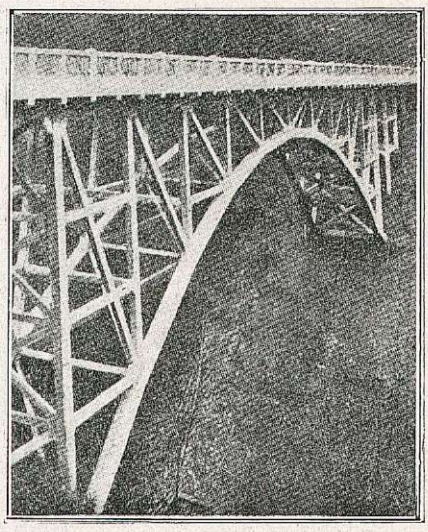


Fig. 62.

Dispositivos para las dilataciones.—Recomendamos los que hemos proyectado para los modelos oficiales, que describimos en el tomo III, página 208, pues son los más sencillos y están dando buen resultado en los puentes construídos con arreglo a dichos modelos oficiales, y en otros puentes en que se han adoptado iguales disposiciones.

Insistimos sobre la necesidad de prevenir estas dilataciones, cortando el tablero en el plano de los arranques; de no hacerlo así en invierno, casi todos los forjados, pavimentos y barandillas se agrietarán para volverse a cerrar durante el verano; la obra no peligrará por ello, pero es de mal efecto y tienden las grietas a aumentar con el tiempo.

---

(1) Construído en 1920 por la Dirección de Vialidad (Uruguay), a la que agradecemos la remisión de interesantes datos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

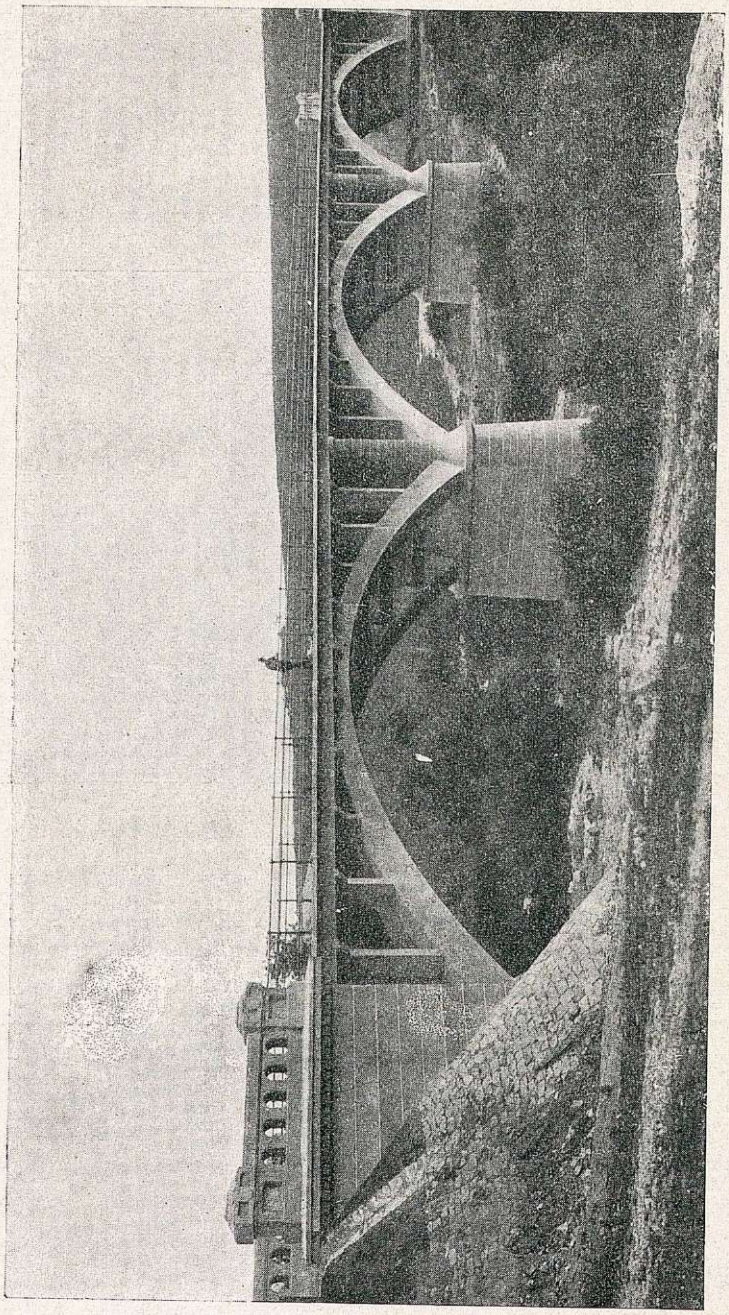


Fig. 63.—Puente sobre el arroyo Coya (Uruguay).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

§ III.—ARMADURAS FLEXIBLES EN LOS ARCOS

Con redondos longitudinales.—En la figura 64 indicamos la forma en que disponen las armaduras de barras redondas en los arcos,

Las barras principales se distribuyen a distancias del intradós y trasdós de 5 cm. y se arriostran entre sí con barras de repartición de 6 a 12 mm., según las generatrices del arco, y a distancias de 15 a 30 centímetros.

La sección de las barras principales se determina por el cálculo y se distribuyen con arreglo a las tensiones que sufran las diferentes zonas del arco.

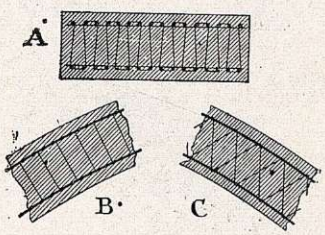


Fig. 64.

Para solidarizar estas armaduras de trasdós e intradós conviene arriostrarlas entre sí mediante horquillas normales u oblicuas al arco (fig. 64 - B y C) o uniéndolas longitudinalmente por redondos entrelazados.

En los ejemplos de puentes que luego presentamos y en los del capítulo III, se detallan varias disposiciones de riostras; pero el autor, como siempre, recomienda las más sencillas de colocación.

Con redondos zunchados sistema Considère.—Cuando por circunstancias especiales hay que aligerar los volúmenes de los arcos, el ilustre ingeniero Mr. Considère preconizó el empleo de sus zunchos en espiral, que, como explicamos en el tomo I, página 64, ofrece la ventaja de hacer trabajar el acero a tensión.

Entonces, estos zunchos en espiral contribuyen sobre todo a resistir las compresiones que sufren los arcos y es preciso añadirles barras longitudinales, que, además de arriostrar las espiras del zuncho, resisten a las tensiones que puedan producirse, *tanto más sensibles* cuanto que el empleo de estos zunchos permite reducir las dimensiones transversales del hormigón (fig. 65).

Teóricamente no puede ser más seductora esta disposición, que aparece como la más económica; pero a pesar de ello no se ha generalizado el empleo de estas armaduras zunchadas sino en casos aislados y especiales.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

También se aplican en arcos con armaduras corrientes añadiéndoles zunchos, pero en aquellas zonas en las que las compresiones son mayores y donde habría que poner un número excesivo de barras trabajando a compresión. En los capítulos III y IV daremos ejemplos de estos zunchos.

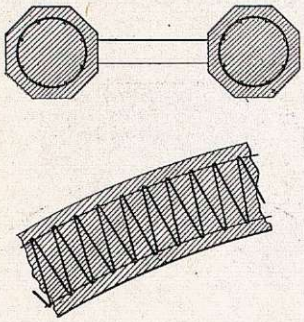


Fig. 65.

La experiencia parece demostrar que la economía de material, hierro y hormigón que se puede obtener con estos zunchos Considère, queda anulada por el mayor gasto de moldes y mano de obra, según pudimos comprobar en los proyectos comparativos que estudiamos con motivo del Concurso del puente-viaducto de Barranco Hondo (1).

Con fundición zunchada sistema Emperger.—El ilustre y veterano ingeniero austriaco Herr Fritz von Emperger (2) ha aplicado en diferentes puentes alemanes y austriacos una disposición original de armaduras para utilizar la considerable resistencia del hierro fundido a la compresión (de 60 a 70 kg. por milímetro cuadrado).

Consiste en constituir la armadura principal con cuatro angulares de fundición (fig. 66), cuya sección se proporciona con las presiones y que se arriostran entre sí por cuadros de flejes; se com-

(1) (Fig. 54). Proyectado y construído por el autor en 1902, en la isla de Tenerife, y al que se dió el nombre de Alfonso XIII. (Véanse detalles en el capítulo VIII.)

Seducido por las teorías y experimentos de mi ilustre colega y amigo Mr. Considère, le pedí proyectara una solución de este problema con armaduras zunchadas y accedió a mi deseo, remitiéndome unos planos muy sugestivos.

Pero estudiado por mí el presupuesto de ejecución, cimbras y moldes para dicha solución, observé con sorpresa que su coste superaría sensiblemente al de mi solución de arcos macizos con armaduras rígidas, que podía construirse sin cimbras. Así tuvo que convenir el propio Mr. Considère cuando le sometí mi proyecto, y, bien a mi pesar, hubimos de desistir de presentar la solución de arcos zunchados, adoptándose mi proyecto, con el que se realizó la obra con gran facilidad y economía.

(2) Director de la reputada revista de Berlín *Beton und Eisen* y del Manual del Constructor de hormigón armado *Handbuch fü eisenbetonbau.*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

pleta la armadura con barras de acero dulce, algunas longitudinales y otras en forma de zunchos, de manera a solidarizar todas las armaduras con el hormigón.

El doctor Emperger ha realizado muy interesantes experimentos de laboratorio con esta disposición (1), comprobando sus excelentes condiciones de seguridad.

Asimismo ha aplicado el procedimiento en varios puentes de Alemania (2) y en un puente articulado en Austria, que describiremos en el capítulo V.

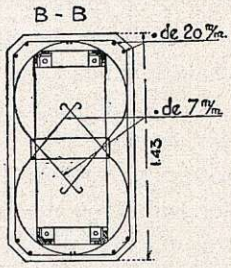


Fig. 66.

Con armaduras transversales sistema Freyssinet.—Para la fabricación de ciertos tubos de mortero de cemento, los americanos añaden a la masa puntas de alambre, que aumenta sensiblemente su resistencia (3).

El ingeniero Freyssinet está experimentando hace años los formidables aumentos de resistencia obtenidos, armando *transversalmente* el hormigón con cuadrículas cruzadas de alambre y empleando hierros y cementos de altas resistencias; se pueden entonces someter los hormigones a presiones de 5.000 kgs. por centímetro cuadrado.

Ya veremos en el capítulo IV, al ocuparnos de los grandes arcos, el campo de acción que puede alcanzarse con esta genial idea de adicionar, por decirlo así, fibras al hormigón, con lo que se mejora y fortalece éste en proporciones formidables.

§ IV.—ARMADURAS RIGIDAS EN LOS ARCOS

Importancia de las cimbras.—Todos los arcos con armaduras flexibles que acabamos de describir exigen para su construcción cim-

(1) Véase *Génie Civil* de 12 de septiembre de 1925, pág. 239.

(2) En Leipzig (puente Scharzemberg); véase *Génie Civil,* 25 de octubre 1913, pág. 521, y 25 de diciembre 1920, pág. 530.

(3) El mismo resultado se obtiene incorporando al mortero el cemento fibras de amianto, lo que constituye el producto llamado *uralita,* con el que se consiguen resistencias a la compresión y extensión muy superiores a las correspondientes al mortero.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

bras y moldes perfectamente rígidos, para soportar sin asiento, no sólo el peso muerto de los arcos, sino las vibraciones que ha de producir el apisonado de su hormigón.

La madera para estas cimbras tiene que ser escogida, y su precio ha triplicado desde la guerra; la preparación de las cimbras, su montaje y descimbramiento exigen a su vez brigadas de *carpinteros de armar*, cada vez más exigentes en sus jornales y de día en día más propensos a disminuir su rendimiento útil, y al proselitismo socialista, de que suelen estar exentos los peones de la localidad que se utilizan para el resto de las obras.

El autor no discute, sino que respeta el derecho de los obreros especialistas a sindicarse, persiguiendo el disfrute de mayor jornal con menor trabajo; pero como ingeniero, debe preocuparse, ante todo, de emplear disposiciones constructivas que aminoren el coste de las obras.

Pues bien: las cimbras representan en la construcción de los puentes de H. A. un gasto muerto y un factor importante, y a veces decisivo, en la elección de tipo de puente.

En la ejecución de los tramos rectos de H. A. no pueden evitarse; pero generalmente tienen poca altura y además suelen también repetirse en un gran número de tramos iguales, lo que permite amortizar su coste con más facilidad; por último, resultan sencillos de preparación y montaje por sus formas rectas y pueden emplearse para sus apoyos pies derechos de madera barata y de indefinido empleo.

En cambio, las cimbras de los arcos exigen madera de superior calidad, herrajes también costosos, mano de obra delicada, *con gran desperdicio* de madera por sus formas curvas.

Para apreciar su importancia en los arcos corrientes que estudiamos ahora, aplicaremos la fórmula de Sejourné para cimbras de apoyos fijos (que son las más ligeras), fórmula deducida de numerosos ejemplos (1):

$$K = 0{,}06 + \frac{A}{100}$$

en la que K es el volumen de madera por metro cuadrado de bóveda y A la luz del arco.

(1) Sejourné, *Grandes Voutes*, tomo V, pág. 142.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Supongamos puentes de medio punto de 6 m. de anchura y luces respectivas de 10, 20, 30 y 40 m., y que el metro cúbico de madera en cimbra puesto en obra y descimbrado, suponiendo un aprovechamiento posterior, sea de 200 pesetas. Tendremos:

Luces — Metros	Superficies — Metros cuadrados	Valores de K — Metros cúbicos	Volúmenes de madera — Metros cúbicos	Coste de las cimbras — *Pesetas*
10	94,20	0,10	15,07	3,014
20	128,40	0,26	33,38	6,676
30	282,60	0,36	101,73	20,346
40	376,80	0,46	173,33	34,666

Además de este coste, no hay que olvidar que el montaje, el moldeo, los treinta días necesarios para que el hormigón endurezca y el descimbramiento exigen un plazo de ejecución que alcanza fácilmente tres meses *para cada arco,* y en nuestros ríos, supeditados a crecidas súbitas e impetuosas, aun en verano, tales cimbras corren siempre peligro de ser destruídas durante el período de construcción, perdiéndose no sólo el valor de la cimbra, sino las armaduras y hormigón que sobre ella descansen.

Es, pues, evidente que, aun a trueque de aumentar el peso de las armaduras, conviene disponerlas en forma tal que su montaje pueda realizarse sin cimbras o con andamios ligeros, y que el hormigón que ha de envolverlas pueda verterse y apisonarse sobre moldes suspendidos de las armaduras rígidas, previamente montadas (1).

(1) Para facilitarnos la construcción de los arcos de H. A. y liberarnos al mismo tiempo de la onerosa tutela de las patentes de Hennebique, de que era entonces uno de los concesionarios, el autor obtuvo en 1902 patente de invención por veinte años (ya caducada) por este sistema de armaduras para arcos.

Con estas disposiciones ha construído todos los puentes en arco que tuvo ocasión de proyectar, y asimismo los propuso para los modelos oficiales de puentes en arco para carreteras y caminos vecinales, cuya redacción le encomendó la Dirección de Obras Públicas, que describiremos en el capítulo siguiente. Posteriormente se enteró de que el ingeniero austríaco Melan aplicó igual procedimiento en algunos puentes, cuyo empleo se extendió en Alemania y América con el nombre de sistema Melan, aunque con menores ventajas que en España por ser en aquellos países mucho más barata la madera.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

La irregularidad y violencia de las crecidas en nuestros ríos, que en repetidas ocasiones irrogó al autor considerables perjuicios de tiempo y de gastos en las obras en que intervino, le impulsó a constituir las armaduras de los arcos con estructuras rígidas, imaginando las disposiciones que pasamos a explicar.

Armaduras con viguetas.—Las primeras aplicaciones las hicimos con viguetas corrientes de doble T del comercio, con las disposiciones de la figura 67.

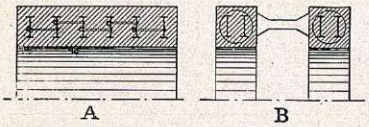


Fig. 67.

La primera *A* se aplicó en la bóveda continua de 30 m. que en el Chorro (Málaga) sostiene el acueducto de aquel canal (1); la disposición *B* la aplicamos en los puentes de Golbardo y Ganzo (figuras 73 y 74). Deben encorvarse previamente en caliente, con arreglo a la curva directriz del arco, y para facilidad de su transporte se utilizan viguetas corrientes de unos 6 m. de longitud.

Se apoyan los arranques sobre zapatas de H. A., como en la figura 68.

Se empalman los extremos de sus trozos con bridas dobles de chapa, o mejor aún con angulares o viguetas en U, de menor altura que las viguetas, que se fijan a éstas con tornillos.

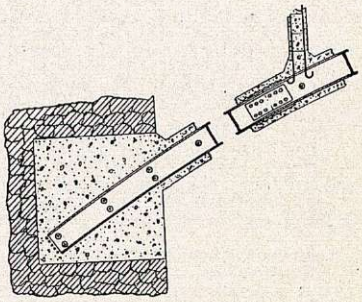


Fig. 68.

Una vez montadas las cerchas metálicas, ya sea con cables, ya con ligeros andamios, se suspenden de ellas los moldes del arco y se vierte y apisona el hormigón por capas de unos 20 cm.

Con cerchas armadas.—Las viguetas del comercio pueden emplearse sin inconveniente alguno en puentes de caminos vecinales o en acueductos hasta para 30 m. de luz.

Pero en puentes de carreteras o ferrocarril, en los que las sobrecargas móviles producen oscilaciones sensibles en las curvas de pre-

(1) Descrito más adelante (pág. 79).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

siones, es preferible emplear cerchas armadas, que permiten, *con iguales pesos,* obtener mayores alturas de viga y, por lo tanto, mayores momentos de inercia.

Primeramente habíamos constituído la celosía con flejes planos, pero con éstos no se obtiene la rigidez necesaria para que los trozos de cercha, preparados en los talleres, no se deformen durante sus transportes en ferrocarril, vapor y camino hasta pie de obra.

Así, que preferimos constituir las celosías con aceros angulares de pequeña sección, de 50 a 60 mm. de lado.

Los extremos de las cerchas pueden prepararse como en la figura 81, disposición que empleamos en el puente de María Cristina, en San Sebastián.

Pero hoy los preparamos como en la figura 69, que es la adoptada en los modelos oficiales de carreteras, lo que permite, con un solo modelo, ser utilizado en pilas y en estribos.

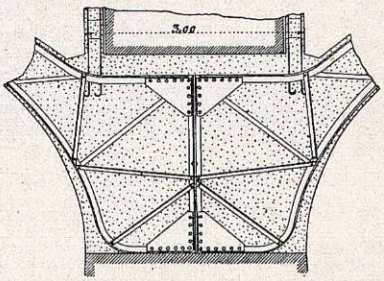


Fig. 69.—Apoyo en los modelos oficiales.

Se empalman los trozos de cada cercha (preparados en taller con longitudes de 5 a 6 m.) con bridas de ángulo, y entre sí se arriostran las diferentes cerchas con angulares normales, según se verá en los ejemplos que más adelante presentamos y en los de los modelos oficiales (capítulo III).

Estas cerchas armadas ofrecen sobre las armaduras de viguetas la ventaja de que las almas en celosía de las cerchas permiten atravesarlas con el hormigón, con lo que se aumenta el monolitismo de los arcos.

Para asegurar más la adherencia entre el hormigón y los hierros perfilados de estas armaduras, el autor, en sus primeros ensayos, envolvía las viguetas en un tejido metálico de alambre.

Ultimamente se ha preconizado en el Extranjero el adicionar a estas cerchas unos cercos circulares en espiral, y Emperger ha hecho experimentos que acusan un aumento de resistencia en las piezas comprimidas así reforzadas; es natural que así sea, pues que se zunchan de esta manera con un suplemento de acero.

Debemos, sin embargo, añadir que en el gran número de arcos

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

que en España se han construído sin aditamento de estos cercos o zunchos no se han observado despegamientos del hormigón de sus armaduras, siempre y cuando éstas queden a una distancia mínima de 5 cm. de los paramentos, para que el hormigón, aun grueso, pueda envolverlas perfectamente.

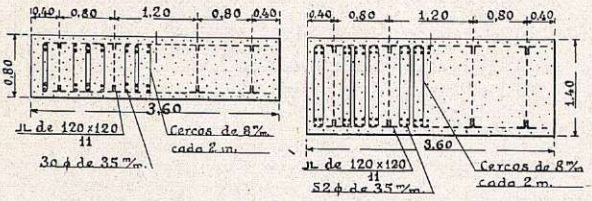


Fig. 70. Armaduras semi-rígidas.

Armaduras semi - rígidas. — En los viaductos del ferrocarril de Alicante a Alcoy, el ingeniero D. José Roselló, autor de sus proyectos, propuso una disposición mixta que podemos designar como armaduras semi-rígidas.

Consiste este sistema *en el empleo de cerchas rígidas de angulares dobles, en la cantidad suficiente y precisa para resistir el peso de la bóveda durante su construcción;* pero como no son suficientes para el peso de las sobrecargas móviles, se suplementan con varillas redondas en el número y posición que el cálculo requiere (fig. 70).

Es una disposición recomendable, pues permite alguna economía en el coste de las armaduras, cuyo peso puede afinarse también (1).

§ V.—EJEMPLOS DE PUENTES EN ARCO

Puente de San Adrián (Navarra).—Sobre el Ebro (figuras 71 y 72).

Costeado en 1909 por el Ayuntamiento de San Adrián (2).

Cuatro arcos de 33 m. de luz, rebajados al 1/10.

Calzada de afirmado: 4,60 m. Entre barandillas, 6,50 m.

Ancho de la bóveda continua: 5,20 m. Andenes en voladizo.

Sobre la bóveda se apoyan filas de cuatro montantes de 0,20×0,30, y sobre éstos las vigas y forjado del piso.

---

(1) Damos detalles de estos viaductos en el capítplo VIII.

(2) Autor del proyecto y director de las obras: profesor D. Enrique Colás.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

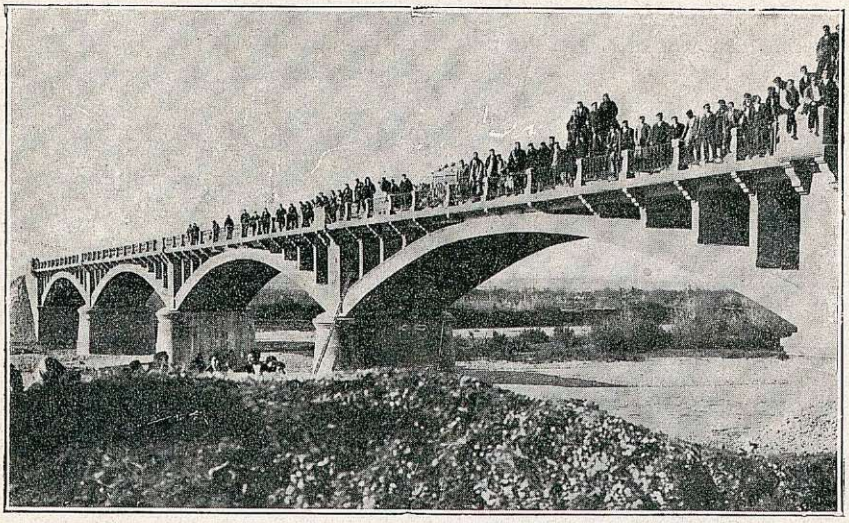


Fig. 71.—Puente de San Adrián.

La armadura de los arcos son siete series de 10 barras de 30 milímetros, enlazadas entre sí por unas trenzas de celosía con redondos de 6 mm.

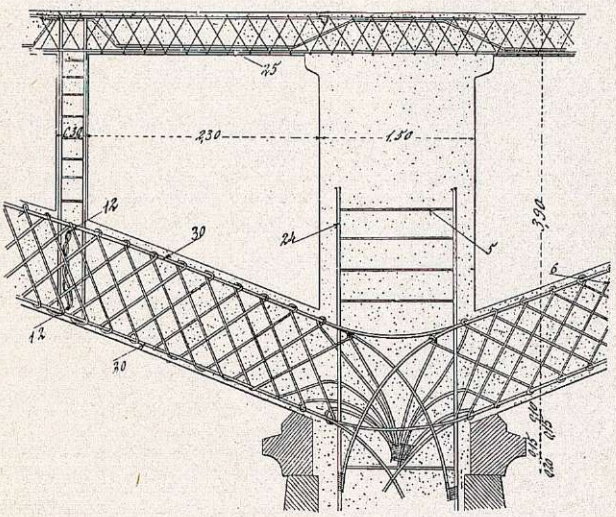


Fig. 72.—Armadura del puente de San Adrián.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Puente de Golbardo (Santander).—Tiene 30 m. de luz, con arcos circulares rebajados al 1/10. Sobre éstos, pilares de 15 × 20 centímetros a 1,50 m. de distancia. El tablero está compuesto por viguetas que vuelan por fuera de los arcos y un forjado (figuras 73 y 74).

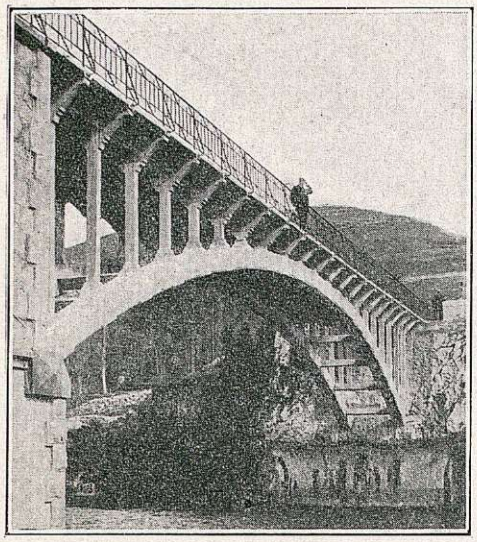


Fig. 73.—Puente de Golbardo.

Las armaduras de los arcos están compuestas por dobles viguetas del comercio, de 200 × 90 × 11,3 × 7,5 encorvadas en caliente y empalmadas a tope con bridas de chapa unidas por pernos de tornillo; para aumentar la adherencia del hormigón envolvimos estas viguetas con un tejido metálico ordinario.

Montamos las viguetas con un ligero andamio y suspendimos de ellas los moldes del hormigón (1).

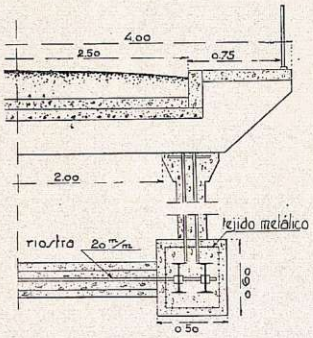


Fig. 74.—Puente de Golbardo.

Puente sobre el San Giovanni, en Intra (Italia).—Para carretera y tranvía (automotrices de 30 toneladas (2).

Ancho entre barandillas, 7,80 m.

Tres tramos parabólicos de 30,30 metros de luz, soportados cada uno de ellos por cuatro arcos arriostrados en parte de su desarrollo por forjados en el intradós y trasdós (fig. 75).

(1) Es el primer puente en arco, proyectado y construído por el autor en 1902, y creemos que el primero construído sin cimbra.

Detalles, en mi libro *Puentes metálicos en arco y de hormigón armado,* 2.ª parte, pág. 63.

(2) Detalles en *Ponti in cemento armato,* Santarella, lámina 49.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Los tímpanos se han triangulado con diagonales para llevar a las pilas una parte de las cargas del tablero; pero la ventaja es pequeña, pues resultan estas diagonales más largas y también más caras de moldes y mano de obra que los pilares verticales.

Los arcos son nervios verticales arriostrados por un forjado inferior hacia los arranques y forjado superior en su zona central.

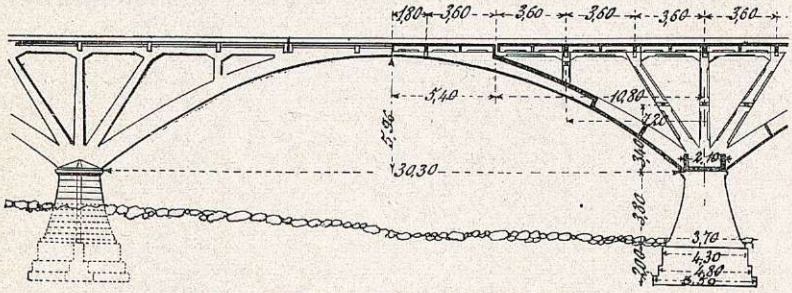


Fig. 75.—Puente sobre el San Giovanni.

Acueducto sobre el barranco del Chorro (Málaga).—Por encargo de los ingenieros Sres. Werner y Benjumea, el autor proyectó y construyó este acueducto en 1904 y para su canal del Chorro.

Se trataba de atravésar a 100 metros de altura la cañada con paredes verticales, de que la figura 76 da una idea.

No se podía pensar en lanzar un tramo metálico. Los dos túneles en curva, por donde sale y entra el canal, impedían el montaje de cualquier entramado recto.

Para construir un arco de fábrica u hormigón armado con armaduras de aceros redondos, hubiéramos debido establecer una cimbra, sin apoyos intermedios, cuya ejecución, si no imposible, presentaba, por lo menos, dificultades excepcionales.

Fig. 76.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Las figuras 77 y 78 indican la solución que realizamos por un precio de 30.000 pesetas.

Por medio de un cable transbordador *A A'* (fig. 79) fijado a las paredes de la roca, empotramos con hormigón, en nichos excavados en la peña, los primeros trozos *a a'* de las viguetas en doble T de 24 cm. y la placa de H. A. que constituyen los salmeres de la bóveda; los extremos exteriores de estas viguetas quedaron fijados por medio de ligeros cables.

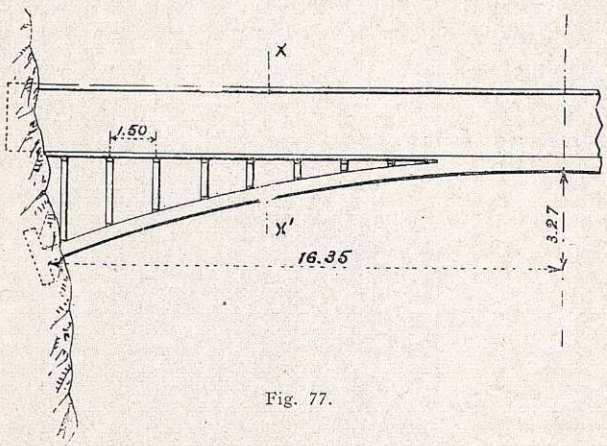


Fig. 77.

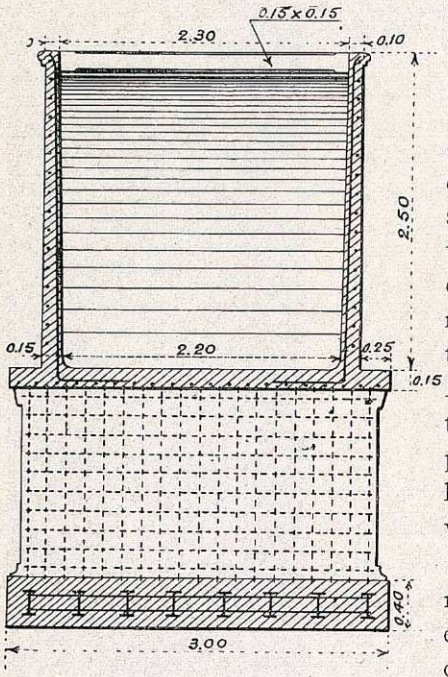


Fig. 78.

Seguidamente montamos los dos trozos *b b'* de las viguetas, que se enlazaron a los trozos *a a'* por bridas y tornillos y que se arriostraron transversalmente por medio de largos pernos con las demás viguetas del mismo orden; se cerró el arco metálico por un último trozo *c c'*. El conjunto de las viguetas estaba calculado para resistir al peso muerto de la bóveda de hormigón que debía envolverlas.

El moldeo del hormigón se realizó por medio de un simple encofrado de madera colgado de las viguetas metálicas; pudimos así suprimir la cimbra.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Una vez la bóveda moldeada, se elevaron encima los tabiques transversales que constituían los tímpanos, y sobre éstos se construyó primero la solera y después las paredes del cajero del canal.

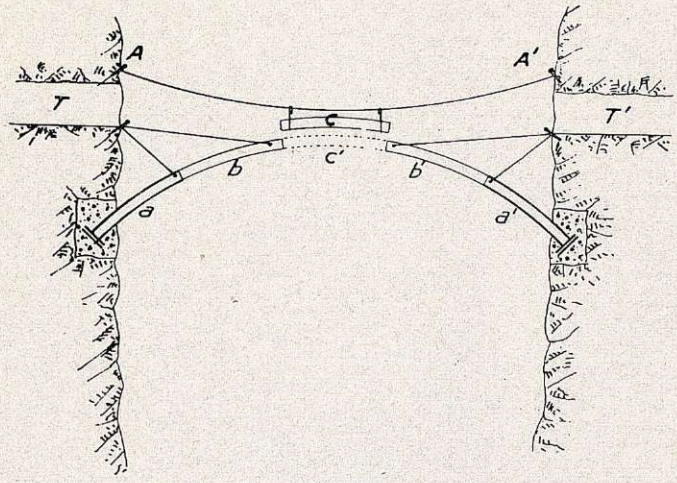


Fig. 79.

Este acueducto, ejecutado en tres meses, hace veintisiete años, se ha comportado admirablemente y ha resistido hace tres años el choque de un enorme bloque que se desprendió de la montaña, que sólo partió una de las paredes del cajero.

Posteriormente se ensanchó la capacidad del canal, aumentando la separación de las paredes del cajero.

Puente de María Cristina, sobre el río Urumea, en San Sebastián (figs. 80, 81 y 82).—Se adjudicó al autor mediante concurso de proyectos y ejecución (1).

El aspecto de este puente es de un puente de sillería, pues los paramentos vistos se han revestido con sillares de piedra artificial.

Los tímpanos están sustituídos por tabiques verticales, sobre los que se apoya el simple forjado del piso, sin vigas ni viguetas.

(1) Detalles, en la *Revista de Obras Pública* de 15 de septiembre de 1904 (proyecto) y 19 de enero de 1905 (ejecución y pruebas); y en *Handbuch für Eisen Betonbau,* por Emperger, tomo III, pág. 78.

Se ha cimentado en arena sobre pilotes de H. A. Tomo II de este libro, pág. 261.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

La armadura rígida de los arcos nos permitió realizar su montaje sobre unas cimbras ligerísimas que bastaron para soportar la primera rosca de las bóvedas, de 0,25 m. de espesor, que a los quin-

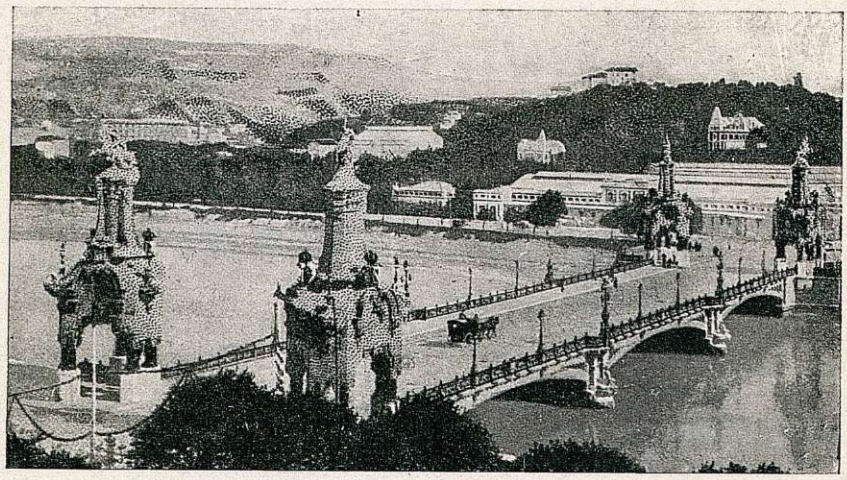


Fig. 80. Puente de María Cristina, en San Sebastián.

ce días de ejecutada sirvió de cimbra para las otras dos roscas de hormigón de la bóveda.

Son tres arcos escarzanos rebajados a 1/11, de 30 m. de luz.

Con igual disposición, pero más sobriamente decorado, construímos al año siguiente el puente de Valencia de Don Juan (León) (fig. 53), adjudicado mediante concurso de proyectos.

Son aquí cuatro arcos escarzanos de 30 m. de luz rebajados al 1/10, sobre estribos y pilas cimentadas en el río Esla por aire comprimido, con nuestro primer tipo de cajones de H. A. (1).

Los tabiques, longitudinales y forjados, están a iguales distancias y tienen los mismos gruesos que los del puente de María Cristina antes descrito; lleva, sin embargo, afirmado en vez de asfalto.

Su aspecto exterior es, como en aquél, el de un puente de fábrica, y como en éstos, las pruebas dinámicas no consiguieron perturbar su casi absoluta rigidez.

(1) Descritos en nuestro tomo II, pág. 189 de la 2.ª edición.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

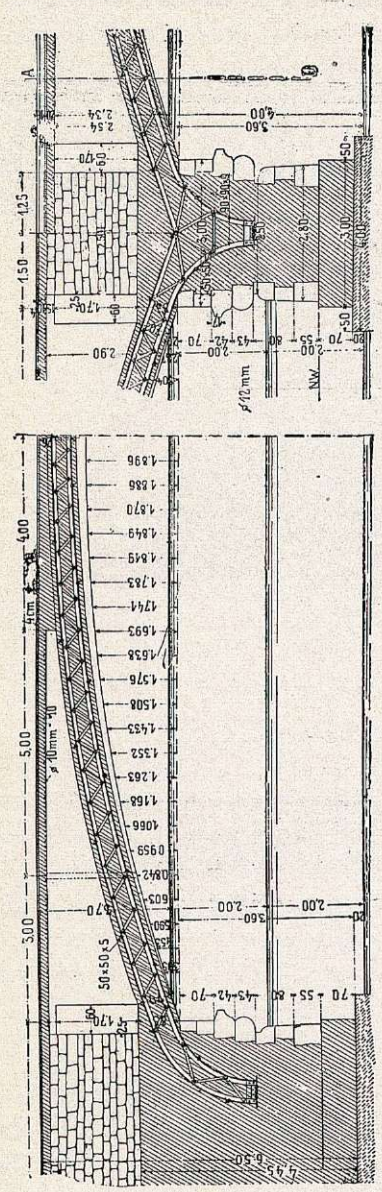


Fig. 81.—Secciones longitudinales del puente de María Cristina.

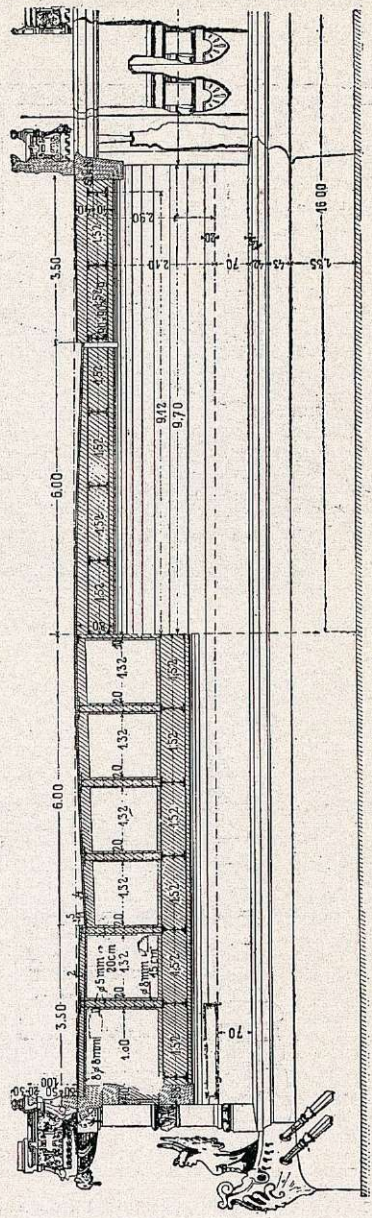


Fig. 82.—Secciones transversales.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Puente Reina Victoria, en Madrid.—Sobre el río Manzanares (figs. 83, 84 y 85). Consta de un arco central de 30 m., rebajado

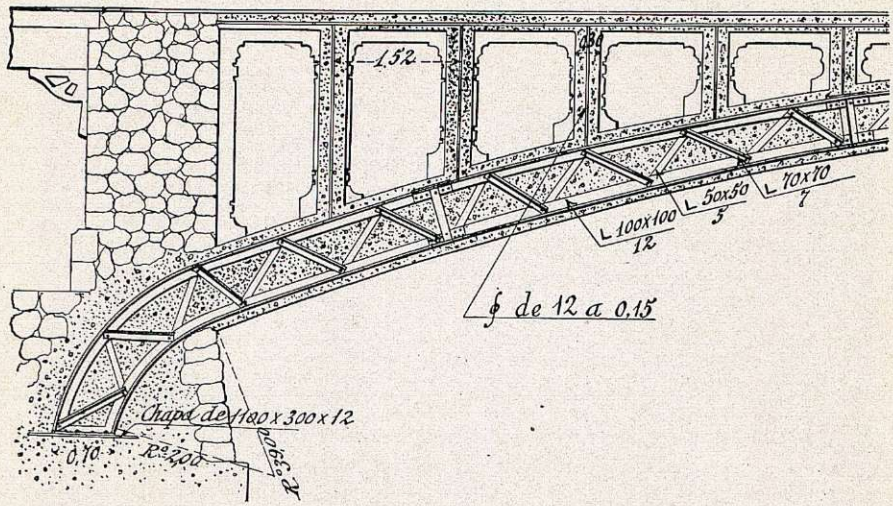


Fig. 83.—Cerchas del puente Victoria.

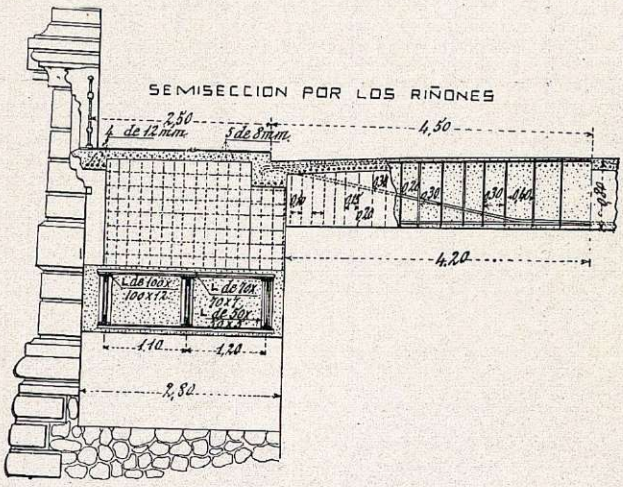


Fig. 84.

al 1/10, cuyos accesos llevan en cada margen dos tramos rectos de 5,40 m. para desagüe de grandes crecidas.

Además de sus armaduras rígidas, la característica de este puen-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

te es que fué el primero en que se aplicaron arcos de H. A., la disposición preconizada por Mr. Sejourné para bóvedas gemelas (1).

Sejourné sólo admitió el H. A. para el tablero; el autor lo aplicó con gran ventaja al arco y a los tabiques, en los que *se apoyan y se empotran las viguetas del tablero.*

La disposición de bóvedas gemelas nos permitió economizar los cimientos por aire comprimido de los estribos en la parte central del puente, es decir, en 8,40 m. de anchura.

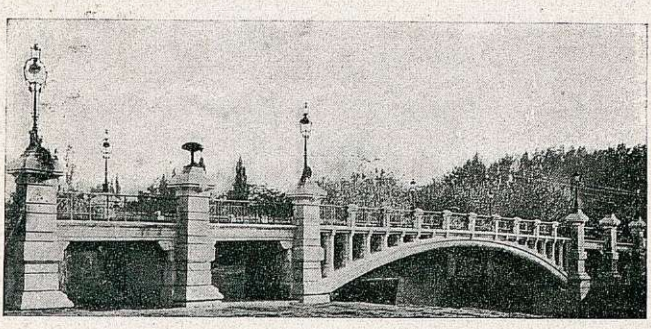


Fig. 85. Puente Victoria, en Madrid.

En cuanto al ahorro de bóveda, en igual ancho representa

$$\frac{8{,}40}{14{,}00} = 2/3.3$$

de la anchura del puente entre barandillas, proporción considerable y superior a la mayor parte de los puentes de este tipo.

A pesar de ello, las pruebas practicadas en este puente con flecha máxima y elástica de 1,4 mm. evidenciaron que el comportamiento de estos arcos bajo las sobrecargas móviles es sólo comparable al de los puentes de fábrica (2).

§ VI.—CONCLUSIONES

Ventajas de las armaduras rígidas.—Al describir anteriormente el acueducto del Chorro ya vimos que las armaduras rígidas de su arco nos permitió ejecutarlo sin cimbra.

(1) De que nos ocupamos con detalle en el tomo III, capítulo XIII.

(2) Detalles de la construcción y de las pruebas, en la *Revista de Obras Públicas* de 12 de mayo de 1910.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Igual procedimiento empleamos para el viaducto de Barranco Hondo, en Canarias (fig. 54), montando sus cerchas en celosía por

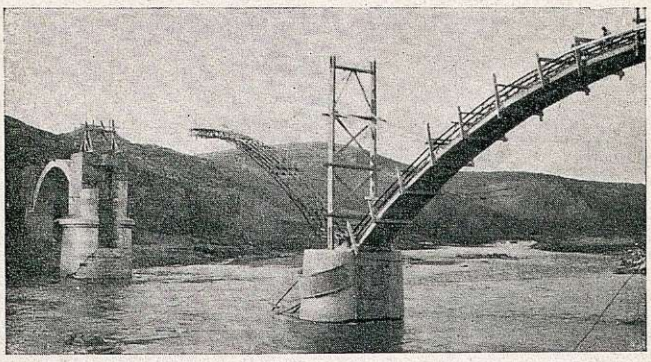


Fig. 86.—Montaje del puente del Manzanal sobre el Esla.

trozos de 6 m. por medio de un cable transportador, y el mismo sistema se ha seguido (fig. 86) en el puente sobre el Esla (1).

Cuando las alturas de las rasantes son pequeñas, pueden mon-

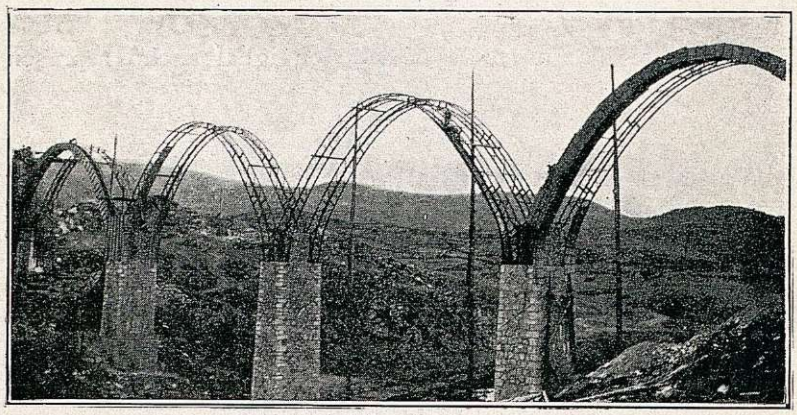


Fig. 87.—Montaje de las cerchas del viaducto de Gaznata.

tarse estas cerchas rígidas con muy ligeros andamios, y así lo hemos hecho en los puentes de Golbardo y Ganzo (Santander) y el de Galcerán (Santa Cruz de Tenerife).

(1) En Manzanal del Barco (Zamora), por el ingeniero D. Antonio Díaz Burgos. Describiremos este puente en el capítulo IV.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Pero si las luces de los arcos no exceden de 25 m., como ocurrió en el viaducto de Gaznata (fig. 87), montamos cada una de las cerchas en una sola pieza y elevamos éstas por medio de aparejos colgados de un mástil hasta colocarlas en su sitio.

Por último, en el puente de San Telmo, sobre el Guadalquivir (1), montamos sus cerchas rígidas de 45 m. de luz, colocando en voladizo sus trozos extremos empotrados en los apoyos; en cuanto a sus trozos centrales, los elevamos hasta su posición por medio de un castillete establecido sobre la cubierta de un barco que se anclaba en el centro del tramo (fig. 88).

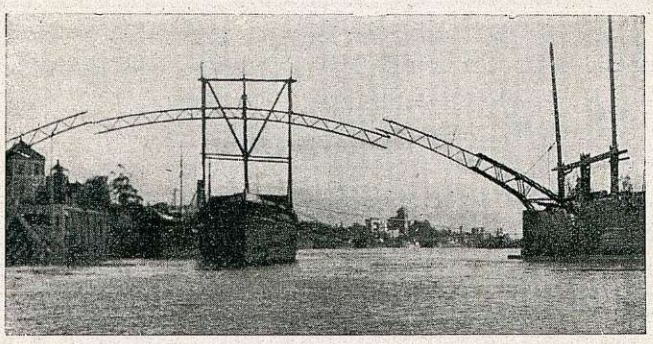


Fig. 88.—Montaje del puente de San Telmo.

Vemos, por lo tanto, que las armaduras rígidas permiten suprimir la cimbra, pues que de aquéllas pueden suspenderse los moldes para el hormigón que ha de envolverlos.

Su aumento de coste es aparente.—El peso de estas armaduras rígidas es algo mayor que el que tendrían las armaduras que hemos llamado flexibles (aunque ya hemos visto que puede reducirse empleando la disposición de armaduras semi-rígidas); pero aun así, la supresión de la cimbra produce casi siempre una sensible economía en el coste del puente.

Para comprobarlo podemos comparar sus costes, deducidos en la página 73, con el de los pesos de las armaduras de los arcos de los modelos oficiales para puentes de carreteras, descritos en el capítulo siguiente.

(1) Descrito en el capítulo IV.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Aplicaremos al acero en estas cerchas armadas, al pie de obra, el precio de 1,50 pesetas.

Luces del arco	Coste de las cimbras de medio punto — *Pesetas*	Coste de las armaduras de un arco		
		de medio punto	rebajados a 1/4	rebajados a 1/10
10	3.014	3.720	3.000	3.382
20	6 676	12.199	8.554	7.234
32	22.908	26.145	17.535	21.823
40	24.666	»	23.313	27.705

Aunque estas cifras son más elocuentes que todos los razonamientos, les añadiremos algunos comentarios.

El coste de las cimbras en arcos rebajados sería algo menor que en los calculados para arcos de medio punto; pero aun así se observa que el coste de las armaduras rígidas es poco superior y a veces inferior al *de las cimbras a que obligaría el sistema de armaduras flexibles.*

¿Qué importa, pues, el aumento de peso de las armaduras rígidas, calculadas para resistir por sí solas un tercio o la mitad del espesor del hormigón, si en cambio aquéllas permiten la supresión de la cimbra, que costaría casi tanto?

Claro es, que si se trata de un puente de muchos arcos o de una vía en la que se repita en gran número el mismo tipo de arco, el gasto de las cimbras puede amortizarse totalmente, por lo que disminuyen y hasta pueden anularse aquellas economías.

Otras ventajas.—Pero queda siempre el peligro de las crecidas que las destruyan y la sujeción de acomodar la marcha de la obra a la de los estiajes; se mantiene también la necesidad de las brigadas de carpinteros que las cimbras exigen, más caros, más difíciles de reclutar y de someter a la disciplina propia de las obras que los obreros locales, que suelen bastar para la construcción de arcos con armaduras rígidas.

Aunque no tan decisivamente, también conviene adoptar para los tímpanos y tableros disposiciones sencillas y robustas, fáciles de moldear y construir, pues la pequeña reducción de volumen de

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

hormigón y peso del acero que pudiera obtenerse se compensa con su menor coste de mano de obra y su mayor masa, que atenúa las vibraciones y resiste a los esfuerzos secundarios, pero a veces importantes, de los impactos por el paso de los trenes y pesados vehículos.

Los puentes de H. A. deben mantener la inconmovilidad de las bóvedas de fábrica y no oscilar ni vibrar como los metálicos.

¿Qué importa que un puente tenga más hormigón y más acero, *que quedan a favor de obra,* si el gasto de jornales y de medios auxiliares se reducen en igual o mayor proporción?

Lo que interesa es que el *coste total* de un puente robusto no exceda del de un entramado ligero y movedizo, más precario y destructible por lo tanto.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

CAPÍTULO III

MODELOS OFICIALES DE PUENTES

§ I.—**Para caminos vecinales.**

Tramos rectos.—Tramos en arco.

§ II.—**Para carreteras de tercer orden.**

Tramos rectos.—Tramos en arco.—Pliegos de condiciones facultativas.

§ III.—**Para ferrocarriles de vía ancha.**

Tramos rectos.—Tramos en arco.—Pliego de condiciones facultativas.

§ IV.—**Ejemplos de algunos puentes construídos con modelos oficiales.**

Sobre el río Andarax (Almería).—Sobre el Guadarrama (Toledo).—Sobre el Guardal (Granada).—Sobre el Tajo (Cáceres).—Viaducto de Gaznata (Avila).—Sobre el Júcar (Valencia).

§ V.—**Conclusiones.**

Ya dijimos en el tomo III, pág. 99, que la Dirección general de Obras públicas, y posteriormente la Dirección general de Ferrocarriles, habían estimado conveniente, y hasta casi necesario, tener sus *modelos oficiales* de tramos rectos y en arco, en hormigón armado y metálicos, para sus caminos vecinales, sus carreteras de tercer orden y sus ferrocarriles de vía ancha.

Los de caminos vecinales y carreteras fueron encomendados a los profesores de la Escuela de Caminos Sres. Zafra y Mendizábal y

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

al autor de este libro, y los de ferrocarriles a una Comisión presidida por el autor y de la que formaron parte los Sres. Mendizábal y Peña.

Las luces escogidas entre 10 y 50 m. fueron las *teóricas,* es decir, las luces de cálculo para los tramos rectos y las de las curvas directrices para los arcos.

Describiremos cada grupo de estos modelos, pero al mismo tiempo no hemos de ocultar los defectos que la ejecución de los mismos ha evidenciado, si bien reconociendo que su aplicación general en todas las provincias para los caminos vecinales y carreteras ha producido grandes economías al Estado, no sólo por el ahorro de trabajo y tiempo de sus ingenieros, sino por la reducción considerable de sus gastos de construcción (1).

§ I.—PARA CAMINOS VECINALES (2).

Tramos rectos (2).—Ya en el tomo I, pág. 198, al ocuparnos de las *Pequeñas obras,* reseñamos los modelos inferiores a 10 metros de luz.

Ahora nos ocuparemos de los puentes, a partir de esa luz.

Con vigas llenas: de 10, 11,50, 13, 14,50, 16, 18, 22 m. de luz.

Con vigas aligeradas: de 25, 28, 32 y 36 m.

Las sobrecargas de cálculos adoptadas por el Sr. Zafra fueron las siguientes:

1.ª Sobrecarga uniformemente extendida a razón de 400 kgs. por metro cuadrado.

2.ª Apisonadora de 20 toneladas repartidas en dos ejes, cargadas con 12 y 8 toneladas a 3,875 m. de distancia (3).

---

(1) Estas iniciativas tan fecundas como meritorias, y el haber conseguido su realización, se deben, respectivamente para los tres grupos de modelos, a los ingenieros D. Manuel Maluquer, en caminos vecinales; a D. Román Ochando, en carreteras, y a D. Antonio Faquineto, en ferrocarriles.

(2) Fueron estudiadas por nuestro malogrado e ilustre compañero D. Juan Manuel Zafra, con la colaboración de los ingenieros D. Alfonso Peña, D. Ramón M. Serret y D. Jacinto González. Esta colección fué aprobada por Real orden de 31 de mayo de 1921.

(3) Las máximas cargas unitarias resultaron: de 43,7 kg. por centímetro cuadrado, para el acero, en el tramo de 13 m.; de 1.033 kg. por centímetro cuadrado, para el acero, en el tramo de 13 m.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Las figuras 89 y 90 dan idea de estos tipos de modelos. Como se ve, la calzada y andenes están separados por bordillos salientes; aunque para tramos de *vía única* no ofrecen estos bordillos inconvenientes apreciables, el autor considera preferible disponer los andenes por encima de la calzada, por las razones que explicamos en el capítulo I.

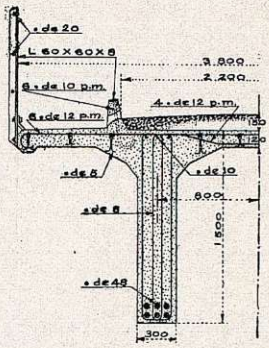


Fig. 89.

Otro defecto que la experiencia ha evidenciado en la práctica es que las barras para vigas con diámetro superior a 35 milímetros, que el Sr. Zafra proyectó para los tramos de 11,50 m. de luz, en adelante, y que llegan hasta 52 mm. de diámetro, son difíciles de manejar, y *sobre todo de doblar* en sus extremos. Es, pues, preferible reducir los diámetros a un máximo de 35 milímetros, a trueque de aumentar el número de barras.

Pero el autor considera aún preferible, y así lo ha hecho en muchos casos, aumentar la altura de las vigas 15 ó 20 por 100, lo que no influye en el desagüe ni en el costo de los tramos, porque el aumento de hormigón se economiza en acero.

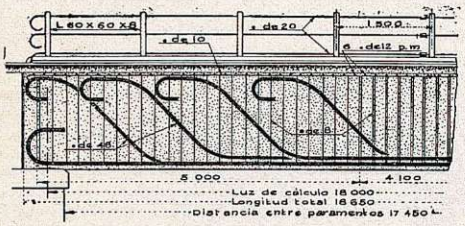


Fig. 90.

También al autor le parecen innecesarios los chaflanes dobles entre el nervio y forjado; se obtienen análogos efectos con un chaflán único, que simplifica sensiblemente el molde y sus operaciones de montaje y descimbrado.

Las barandillas de estos modelos y los empalmes de las barras largas con manguitos, en apariencia sencillos y económicos, resultan complicados y caros; nos parecen preferibles barandillas empotradas directamente en los andenes, así como el empleo de barras de una pieza o empalmadas con las precauciones que se detallan en el pliego de condiciones facultativas generales para estos tramos (artículo 9.º) (1).

(1) Publicadas en nuestro tomo I, pág. 279.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Por último, las vigas aligeradas que el Sr. Zafra proyectó para los tramos de luces comprendidas entre 25 y 36 m. (figs. 91 y 92) adolecen de los defectos que enumeramos también en el capítulo I.

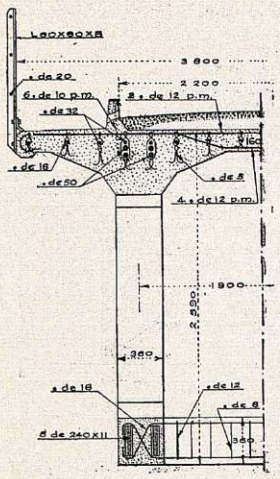


Fig. 91.

Consideramos, pues, preferibles las vigas macizas para tramos rectos inferiores a 30 m. y para los de luz superior a 30 metros, *si no fueran posibles los arcos,* que suelen ser más económicos de materiales, podría emplearse la disposición que nuestro compañero D. Alfonso Peña ha proyectado para los tramos rectos de ferrocarriles y que describimos en el § III de este capítulo.

Tramos en arco.—En 29 de abril de 1922, la Dirección general de Obras públicas encomendó al autor y al Sr. Mendizábal (D. Domingo) la redacción de análogos modelos y, respectivamente, para arcos de hormigón armado y tramos metálicos.

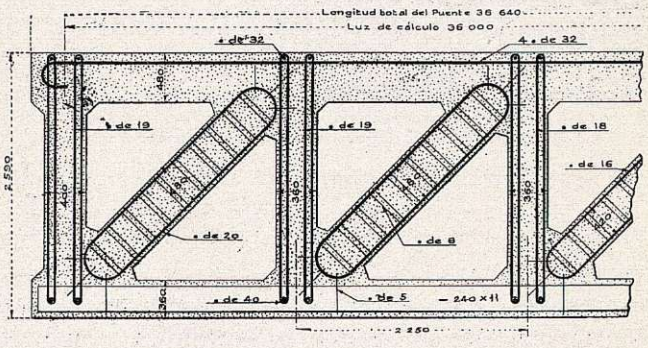


Fig. 92.

Aquí sólo nos ocuparemos de los tramos en arco de H. A. (1). Presentamos estos proyectos en 31 de diciembre de 1931.

(1) Estudiados por el autor con la muy inteligente colaboración del ingeniero D. José Barcala.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Aun no han sido aprobados oficialmente, que sepamos, pero, por si lo fueran algún día, parécenos oportuno indicar sus características.

La facilidad de construcción que habíamos comprobado en nuestros puentes de Golbardo y Ganzo (1), que merced a sus armaduras rígidas permitieron su montaje con ligerísimos andamios, nos impulsó a adoptar una disposición parecida, si bien sustituyendo las viguetas en doble T en aquellos puentes empleadas, por cerchas con celosía de angulares, que posteriormente aplicamos.

Las luces estudiadas para estos modelos fueron:

Con rebajamientos de 1/10: de 10, 11,50, 13, 14,50, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36 y 40 m.

Con rebajamientos de 1/4: de 10, 11,50, 13, 14,50, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32 y 36 m.

Con rebajamientos de 1/2: de 10, 11,50, 13, 14,50, 16, 18, 20, 22, 25, 28 y 32 m.

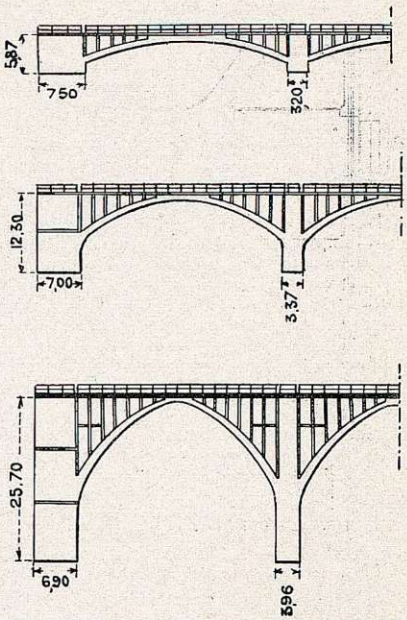


Fig. 93.—Tipos de rebajamiento de los arcos a 1/10, 1/4 y 1/2.

Las disposiciones generales adoptadas para los tres tipos de rebajamiento fueron las de la figura 93.

El ancho de cada uno de los dos arcos fué de 0,50 m., y constante para todas las luces y rebajamientos (figs. 94, 95 y 96).

Las curvas directrices elegidas para todos los arcos son parábolas de 2.° grado, porque los tanteos que hicimos con curvas más complicadas nos demostraron que para las luces estudiadas las diferencias con la envolvente de todas las curvas de presiones no eran prácticamente apreciables.

En los arcos rebajados al 1/4 y al 1/2 empalmamos las cur-

(1) Reseñados en el capítulo anterior.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

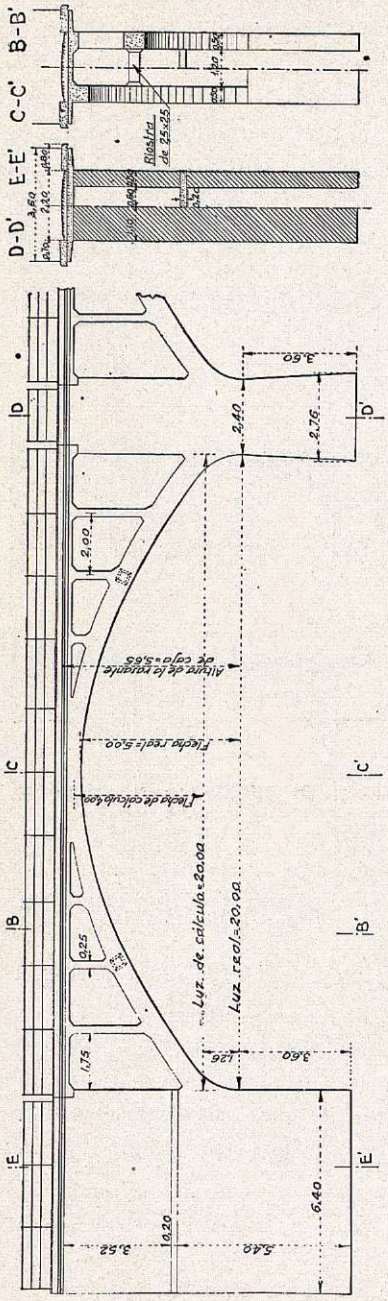


Fig. 94.—Modelos para caminos vecinales.

vas de intradós con pequeñas curvas circulares tangentes a las pilas.

Se calcularon los espesores de pilas y estribos para unas rasantes relacionadas con sus luces.

El grueso de tabiques de tímpanos (0,25 m.) y su distancia entre ejes (2 m.), así como la disposición de largueros, forjado, andenes y barandillas, son *constantes y comunes a todas las luces y rebajamientos* (figura 96).

Las hipótesis de sobrecarga que utilizamos para estos modelos fueron iguales a las propuestas por el Sr. Zafra en sus tramos rectos (1).

§ II.—PARA CARRETERAS DE TERCER ORDEN

Tramos rectos.—La Dirección general de Obras públi-

(1) Los trabajos máximos que resultaron en nuestros modelos fueron de 65,7 kg. por centímetro cuadrado para el hormigón en el tramo de 40 m. rebajado al 1/10, y de 1.197,1 kg. por centímetro cuadrado para el acero de las armaduras del tablero común a todos los modelos. Las armaduras rígidas de las bóvedas tienen por máxima carga la de 889,9 kg. por centímetro cuadrado.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cas encomendó asimismo en 26 de junio de 1920 a los profesores de la Escuela D. Juan Manuel Zafra, D. Domingo Mendizábal y al autor la redacción de modelos para carreteras de tercer orden, en tramos rectos de H. A. y metálicos y arcos de H. A.

Convinimos previamente en estudiar las hipótesis de sobrecarga más desfavorables, a cuyo efecto el Sr. Mendizábal hizo un minucioso estudio (1), que aceptamos para los puentes de H. A.

Se resumen como sigue:

1.ª Sobrecarga uniformemente extendida a razón de 450 kilogramos por metro cuadrado.

2.ª Sobrecargas móviles.

Tren tipo núm. 1. La apisonadora de

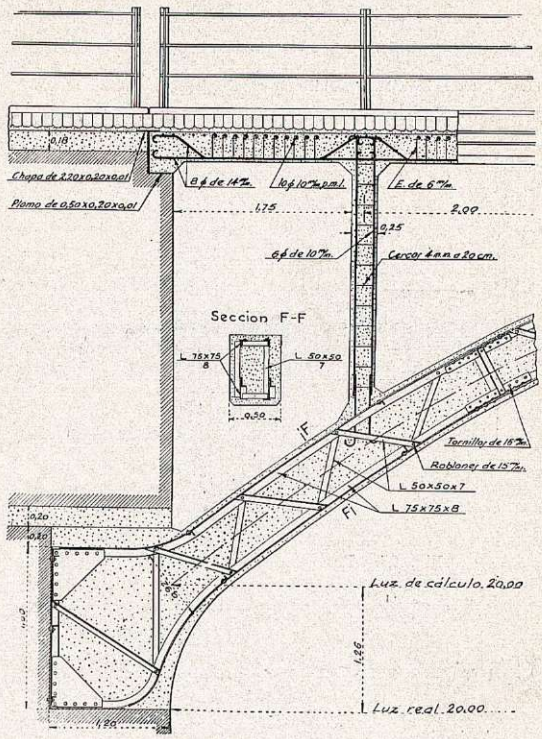


Fig. 95.—Modelos para caminos vecinales.

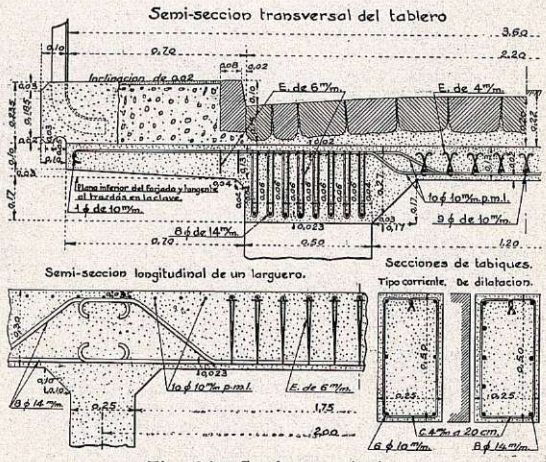


Fig. 96.—Caminos vecinales.

(1) Cumplidamente justificado en su notable trabajo *Estudio de una nueva instrucción para el cálculo de tramos metálicos.*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

20 toneladas que sirvió de tipo a los tramos para caminos vecinales.

Tren tipo núm. 2.—Tres tranvías de cuatro ejes cada uno, con una carga por eje de 6.156 kgs. y una separación de 1,20 m. entre ejes del mismo carretón, y de 7,10 m. entre los ejes contiguos de los dos carretones del mismo coche. Longitud total de un tranvía: 15,50 m. Separación entre coches: 0,50 m. Vía: 1,45 m. Ancho total: 2 m.

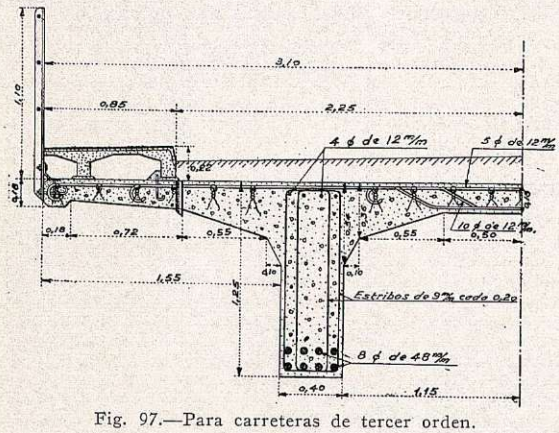


Fig. 97.—Para carreteras de tercer orden.

Se admite el cruce de dos de estos trenes.

Siguiendo igual criterio que en sus primeros modelos de tramos rectos para caminos vecinales, el Sr. Zafra estudió:

Con vigas llenas: luces de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,25, 8,50, 10, 11,50, 13, 14,50, 16, 18, 20 y 22 m.

Con vigas aligeradas: luces de 25, 28, 32, 36, 40, 45 y 50 m.

Asimismo, propuso idénticas disposiciones de vigas, tableros y armaduras.

Pero la Dirección general, aleccionada por por los inconvenientes observados con los bordillos salientes, ordenó el levantamiento de los andenes, cumplimentándolo el Sr. Zafra con la sección que se indica en la figura 97, que es hoy el tipo oficial. Iguales observaciones que las que consignamos al describir los modelos análogos para caminos vecinales debemos repetir aquí, respecto al excesivo grueso de las

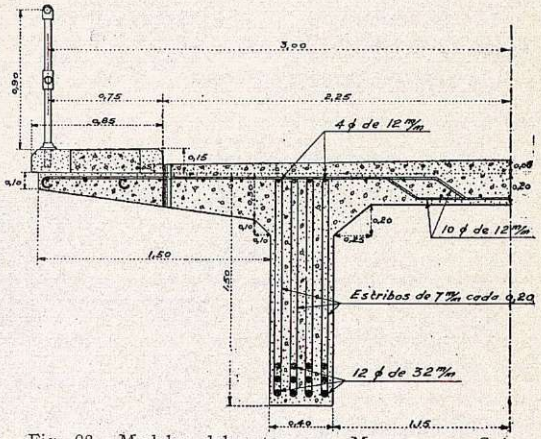


Fig. 98.—Modelos del autor para Marruecos y Guinea.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

barras de vigas, que desde el tramo de 8,50 m. de luz excede de 36 mm., para alcanzar 52 mm. en los de 22 m. de luz.

Para evitarlo, y habiéndonoslo autorizado los ingenieros de la Dirección de Marruecos y Guinea, donde se están aplicando estos tipos en gran número, el autor ha simplificado los modelos Zafra en la forma que se aprecia comparativamente en la figura 98.

En este tipo, de 14,50 m. de luz teórica, *con calzada de hormigón* de 0,08 m. sobre el forjado corriente (1), con un aumento de 0,25 m. de altura a las vigas, conseguimos sustituir las ocho barras de 48 mm., que pesan 114 kilogramos por metro lineal, por 12 barras de 32 mm., que pesan 76 kilogramos. Resulta una sensible economía (2).

A partir de 25 m. de luz, los modelos oficiales de puentes para

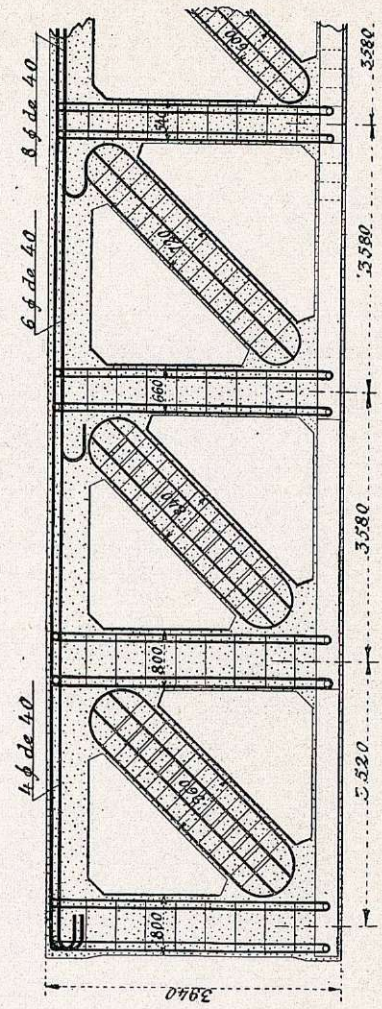


Fig. 99.—Para carreteras de tercer orden.

Fig. 99 bis.

(1) En Guinea sólo circulan autos y camiones; en Marruecos hay muy pocos coches y carros de tracción animal.

(2) Suponiendo precios de una una peseta por kilogramo de acero y 100 pesetas metro cúbico de hormigón, la economía de acero por metro lineal de puente es de $2 \times 38 = 76$ pesetas, mientras que el aumento de altura de las dos vigas sólo cuesta: $2 \times 0{,}25 \times 0{,}40 \times 100^{p} = 20$ pesetas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

carreteras tienen sus vigas aligeradas (figs. 99 y 99 bis) de igual tipo que las anteriormente descritas para caminos vecinales y, por lo tanto, con los inconvenientes análogos que ya enumeramos.

Tramos en arco (1).—Adoptamos para los modelos de carreteras idénticas disposiciones que antes describimos para los de caminos vecinales.

Los dos arcos son de un ancho constante de 1 m. (figs. 100

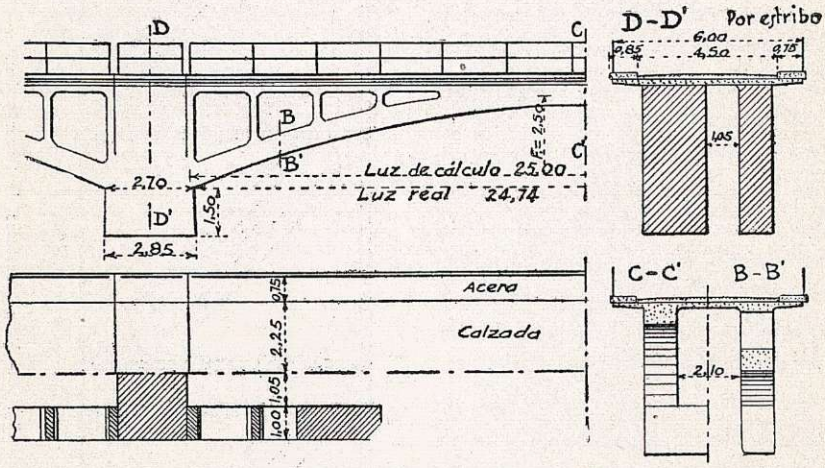


Fig. 100.—Para carreteras de tercer orden.

y 101); es decir, que la suma de las dos bóvedas es la 1/3 parte del ancho que damos al puente entre barandillas (6 m.).

El tablero y tabiques son iguales para todos los modelos (fig. 102).

Los dispositivos de dilatación descritos en el tomo III, pág. 208, son también idénticos a los de caminos vecinales.

Las luces proyectadas fueron:

Arcos rebajados a 1/10: de 10, 11,50, 13, 14,50, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45 y 50 m.

Arcos rebajados a 1/4: de 10, 11,50, 13, 14,50, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36 y 40 m.

(1) Colaboraron con el autor en la redacción de estos modelos los ingenieros D. Luis Jara, para los arcos rebajados a 1/5; D. José Barcala, para los rebajados al 1/10, y D. José Luis Orduña, para los rebajados a 1/2.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Arcos rebajados a 1/2: de 10, 11,50, 13, 14,50, 16, 18, 20, 22, 25, 28 y 32 m.

Como en los modelos en arco para caminos vecinales, y por idénticas razones, elegimos para las curvas directrices parábolas de 2.º orden.

Las pilas se supusieron macizas de mampostería u hormigón, con la anchura necesaria para apoyar simultáneamente los dos arcos.

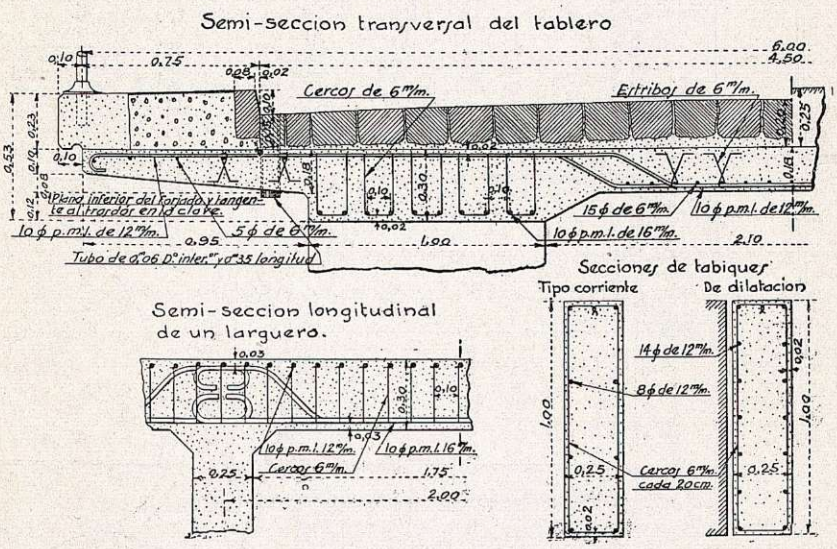


Fig. 101.—Para carreteras de tercer orden.

Los estribos, en cambio, se suprimieron, sustituyéndolos por muros en vuelta con longitud y altura suficiente para resistir los empujes de los arcos (1).

Pliego de condiciones facultativas.—Para la ejecución de estos modelos de puentes, el ingeniero Sr. Peña y el autor redactaron tres pliegos de condiciones facultativas. Uno, de las generales aplicables a toda clase de obras de H. A.; otro, de particulares para los tramos rectos, y un tercero, para los arcos.

(1) Lo justificamos en el tomo III, pág. 114.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

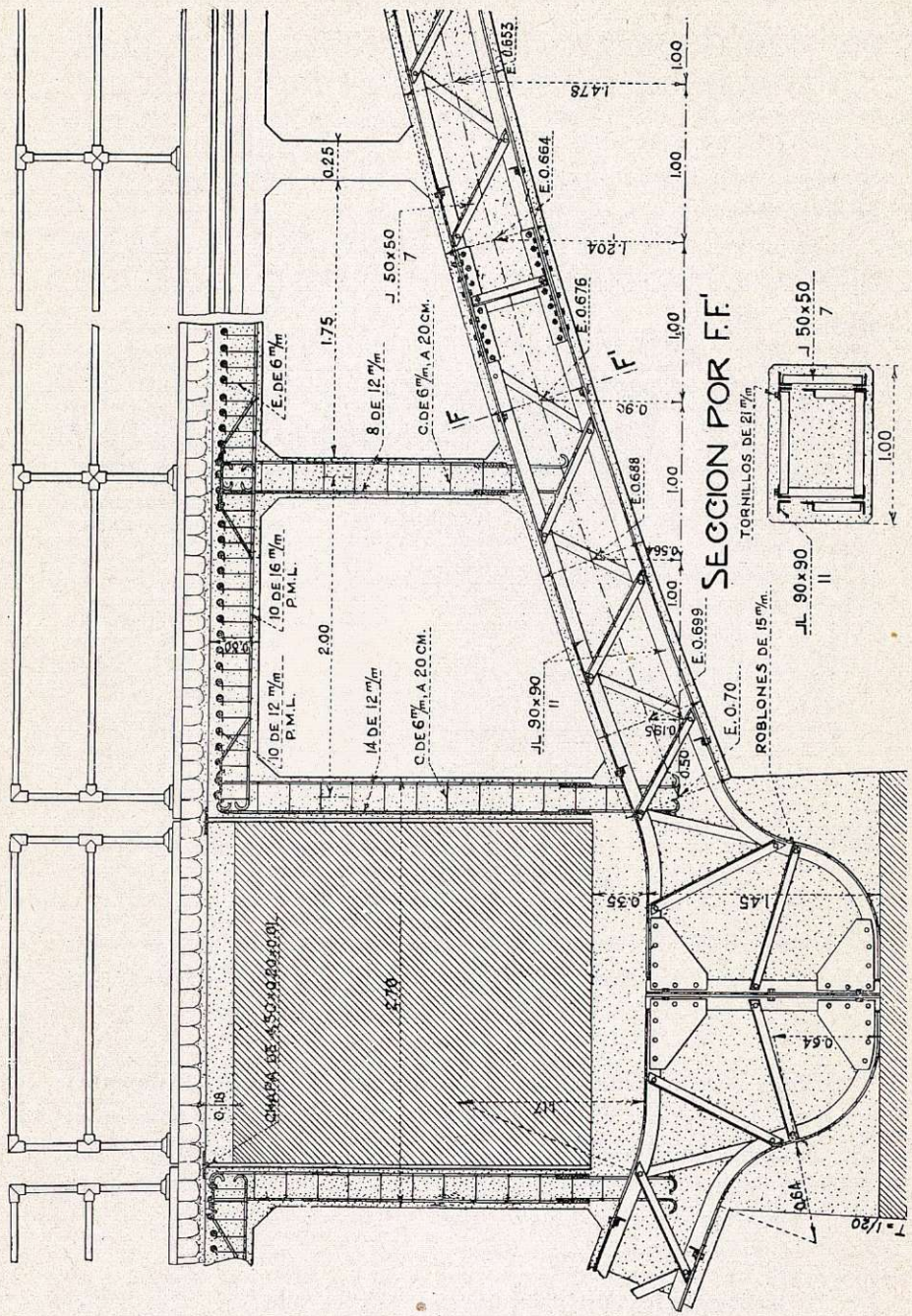


Fig. 102.—Para carreteras de tercer orden.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Todos ellos fueron aprobados por la Dirección general de Obras públicas en 1.º de diciembre de 1921 (1).

Aparte de las condiciones corrientes, debemos fijarnos en que las dosificaciones indicadas de tramos y arcos son de 800 litros de grava, 400 de arena y la cantidad de cemento que corresponda al elemento de obra de que se trate (artículo VI del pliego de condiciones facultativas generales); pero se prescribe que las dosificaciones definitivas se determinen por experimentación, al objeto de conseguir la mayor capacidad posible.

Las riquezas de hormigón que se fijan son las siguientes:

Para tramos rectos: 300 kgs. de cemento por metro cúbico de hormigón en obra para los de alma llena y 350 kgs. para los de alma calada.

Para los tramos en arco: 300 kgs. de cemento por metro cúbico de hormigón en obra para los tabiques y los tableros y 350 kilogramos para las bóvedas.

Los hormigones para cimientos y alzados de estribos y pilas, tímpanos, macizos y andenes se compondrán de 200 kgs. de cemento, 500 litros de arena y un metro cúbico de arena. Los morteros para mamposterías de cimientos y rejuntados de paramentos serán de 250 kgs. de cemento por metro cúbico de arena. En mampostería de alzados de pilas y estribos, el mortero se compondrá de 200 kgs. de cemento por metro cúbico de arena.

En estos pliegos de condiciones se dan reglas para la preparación de los moldes y de las armaduras y se detallan las operaciones y cuidados que han de seguirse y observarse en el moldeo del hormigón, en el desencofrado y en el descimbramiento. Se prescribe la manera en que han de ser realizadas las pruebas de los tramos, y se indican las máximas flechas que deberán producirse y en la forma y cuantía en que deben producirse y desaparecer.

---

(1) Se han reproducido en los Apéndices núms. 2, 5 y 6 del primer tomo de este libro, págs. 275, 308 y 315, respectivamente.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

§ III.—PARA FERROCARRILES DE VIA ANCHA (1).

Reducción del balasto.—Ya dijimos en el tomo III, pág. 80, los criterios diferentes que imperan a este respecto.

Pero con motivo de la encuesta que hubimos de abrir para documentar a la Comisión que el autor presidía para la redacción de estos Modelos oficiales, hubimos de convencernos de que si bien existen algunos puentes en los que las traviesas se apoyan directamente sobre los forjados, la conservación de la vía en estos casos obliga a sujeciones y cuidados que es preferible evitar.

En el Congreso de Ingenieros de Puentes celebrado en Viena en septiembre de 1928 y en el que el autor planteó la cuestión, los especialistas extranjeros también se pronunciaron en favor del balasto, cuyo volumen puede reducirse, sin embargo.

En vista de ello, la Comisión adoptó la disposición de las figuras 103 y siguientes para la sección transversal de todos estos modelos.

Los bordillos de H. A. sujetan, no sólo el balasto, sino que impiden los movimientos transversales de las traviesas; el balasto debe constituirse de gravillas con una primera capa de 17 cm., suficiente para una buena repartición de presiones con traviesas de tipo corriente; el peso muerto del balasto se reduce así por metro lineal: de 3.200 kgs. en plena vía, a 2.800 kgs. sobre los tramos.

Tramos rectos.—Esta colección, al igual de sus análogas para caminos vecinales y para carreteras, comprende obras pequeñas, a partir de 1 m. de luz y tramos rectos de alma llena y aligerada.

Los modelos estudiados y aprobados en la actualidad son los siguientes:

Losas de 1, 2, 3, 4 y 5 m. de luces teóricas. (R. O. de 15 de febrero de 1928.)

(1) Redactados por una Comisión presidida por el autor, con los profesores de la Escuela D. Domingo Mendizábal y D. Alfonso Peña Boeuf.

Colaboraron con el autor: D. José Barcala, para los arcos de hormigón, rebajados al 1/4 y al 1/2, de 10 a 28 m.

Con el Sr. Mendizábal, para los tramos metálicos, los ingenieros D. Francisco Moneva y D. Rafael Ceballos.

Con el Sr. Peña, para los tramos y arcos 1/10, D. Jacinto González y don Amalio Hidalgo.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tramos de alma llena de 6, 7,50, 8,50, 10, 11,50 y 13 m. (R. O. de 15 de febrero de 1928.)

Tramos de alma aligerada de 14,50, 16, 18 y 20 m. (R. O. de 9 de diciembre de 1930.)

En las figuras 103 a 105 se representan, respectivamente, la sección y el alzado de las losas y de los tramos de alma llena, que son de tipos corrientes.

En cambio, los modelos de luces superiores a 13 metros hasta 20 metros llevan alma aligerada, pero de diferente manera que los tramos para carretera y para caminos vecinales. En éstos los aligeramientos interesan todo el ancho del alma, y en los de ferrocarril de que nos ocupamos, quedan solamente rebajados por ambas caras (fig. 106).

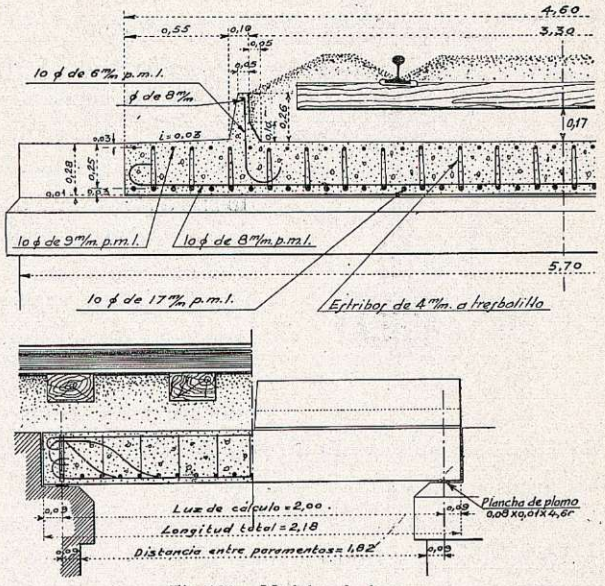


Fig 103.—Modelos de losas.

Con esta solución se llega a una sección de forma de carril inver-

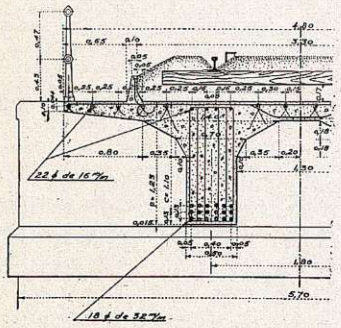


Fig. 104.—Tramos rectos.

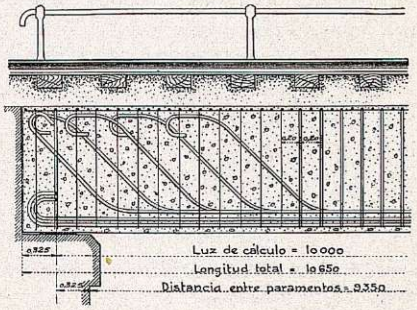


Fig. 105.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tido, en el que el patín representa el forjado. Los moldes en madera y mano de obra son mucho más económicos que en la viga aligerada de montantes y diagonales, y como la estructura metálica es menos complicada, su montaje y el apisonado del hormigón resultarán también más baratos.

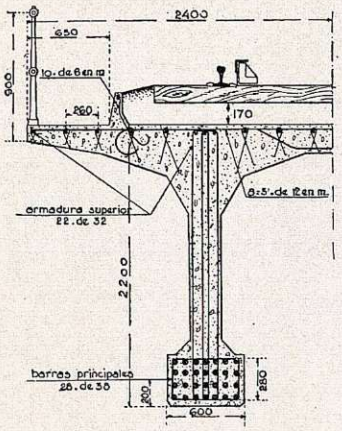


Fig. 106.

Observemos que en los tramos rectos para caminos vecinales y para carretera las vigas aligeradas comienzan, como ya se ha dicho, en la luz de 25 m., y en cambio en los de ferrocarril lo son a partir de 14,50. La razón ha sido la necesidad de disminuir, aun para luces tan pequeñas, el enorme peso propio a que da lugar la importancia de las sobrecargas consideradas.

Esta misma causa ha sido el motivo de que no se propongan tramos rectos de H. A. de más de 20 m. Por encima de esta luz deberán aplicarse los arcos o los tramos metálicos (1).

Los trenes tipos de sobrecargas que se han considerado para los modelos que describimos, han sido los mismos que fija la vigente "Instrucción para la redacción de proyectos de tramos metálicos", aprobada en 24 de septiembre de 1925, y de la que es autor D. Domingo Mendizábal (2).

---

(1) La colección de tramos metálicos comprende modelos de vigas rectas con tablero superior e inferior para simple vía, para cada una de las luces teóricas siguientes: 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45 y 50 metros.

Para doble vía, el Sr. Mendizábal ha estudiado tramos de 32, 40 y 45 metros para tablero superior e inferior, y además un tramo de 50 m. para tablero inferior,

(2) Los apartados *a* y *b*) del artículo 2.° de esta Instrucción prescriben:

"*a)* Para el cálculo estático de los tramos metálicos para vía ancha se utilizará un tren tipo compuesto de dos locomotoras con sus ténderes, colocadas en cabeza y en sentido normal de marcha, seguidas de un número indefinido de vagones cargados.

Las dimensiones y pesos de las máquinas, ténderes y vagones se indican en el cuadro siguiente:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tramos en arco de hormigón en masa (figs. 107 a 109.)—Se han calculado con las sobrecargas antes citadas y para las luces y rebajamientos siguientes:

Arcos rebajados a 1/4: Luces teóricas de 10, 11,50, 13, 14,50, 16, 18, 20, 22, 25 y 28 m.

Arcos rebajados al 1/2: Luces de 10, 11,50, 13, 14,50, 16, 18, 20 y 25 m.

Fueron aprobados por R. O. de 9 de diciembre de 1930.

No se han propuesto tramos en arco de hormigón en masa con

CARACTERISTICAS DE	MÁQUINA	TÉNDER	VAGÓN CARGADO
Longitud total	10,00 m.	8,00 m.	10,00 m.
Número de ejes	5	4	4
Separación de las cabezas de los topes a los ejes extremos	1,50 m.	1,50 m.	1,00 m.
Separación entre los ejes primero y segundo	2,50 m.	1,50 m.	1,50 m.
Separación entre los ejes segundo y tercero	1,50 m.	2,00 m.	5,00 m.
Separación entre los ejes tercero y cuarto	1,50 m.	1,50 m.	1,50 m.
Separación de los ejes cuarto y quinto	1,50 m.	—	—
Carga del eje bisel	12.000 kg.	—	—
Carga de los otros ejes	22.000 »	18.000 kg.	16.000 kg.
Peso total	100.000 »	72 000 »	64.000 »
Peso medio por metro lineal	10.000 »	9.000 »	6.400 »

Para el cálculo de los diversos elementos de las vigas principales se colocará el tren tipo en la posición que produzca efectos más desfavorables en el elemento que se considere.

Para los tramos de doble vía se utilizará la hipótesis de que pasen sobre el mismo dos trenes tipos en el mismo sentido, colocados ambos en la posición más desfavorable.

Podrán ser sustituídos en los cálculos las máquinas y vagones constituyentes del tren tipo por material móvil en servicio en la red en la que se encuentre el tramo que se considera, siempre que los efectos producidos por este material sean iguales o más desfavorables que aquéllos, en los diversos elementos del tramo.

Se podrá sustituir el tren tipo descrito por una sobrecarga virtual, uniformemente repartida, siempre que ésta produzca efectos superiores o, a lo menos, iguales a los producidos por aquél.

b) Para el cálculo estático de los tramos metálicos de pequeñas luces se

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

rebajamientos de 1/10; las tensiones que en ellos se producirían, sobre todo por los efectos de la temperatura, nos obligarían a armarlos muy fuertemente.

En estas condiciones, la Comisión consideró que para luces infe-

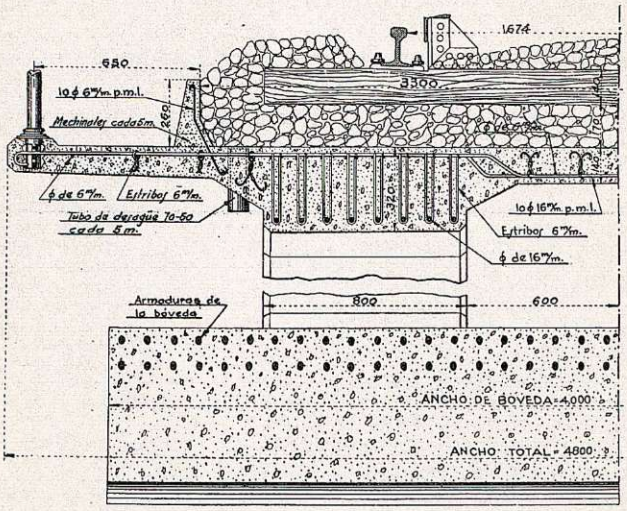


Fig. 107.—Arcos de hormigón en masa rebajados al 1/4.

riores a 22 m., si la rasante de la línea no permitiera proyectar arcos rebajados al 1/2 o al 1/5, convendrá adoptar la disposición de los tramos rectos antes descritos.

A partir de 22 m. de luz, los arcos rebajados al 1/10 son ya de

---

utilizará, como sobrecarga móvil, tres ejes separados 1,50 m. y con un peso por eje de 26,0 toneladas, siempre que los efectos producidos por éstos sean mayores que los que origina el tren tipo descrito en el párrafo precedente.

Esta sobrecarga, compuesta por los tres ejes descritos, se utilizará igualmente para el cálculo de todos los elementos de los pisos de los tramos metálicos, cualquiera que sea su luz de cálculo.

Tanto en uno como en otro caso, se situarán aquellos ejes en la posición que produzcan efectos más desfavorables al elemento que se considera.,,

Como se ve, estas sobrecargas son preceptivas solamente para los tramos metálicos. Para los de fábrica o de H. A. o en masa no hay nada reglamentado en nuestro país. Sin embargo, es lo lógico que los tramos metálicos no tengan una resistencia superior, y como por otra parte los trenes tipos que acaban de indicarse son por ahora extraordinariamente fuertes, no se estimó que procedía considerar otros para el cálculo de los modelos que se describen.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

H. A. y pertenecen a la solución de este tipo, que luego describiremos.

En cuanto a los arcos de hormigón en masa al 1/4 y al 1/2, hemos adoptado para sus tableros y tabiques, y después de muchos tanteos, igual estructura (fig. 107) que la que empleamos para los modelos de carreteras y caminos vecinales antes descritos.

Los tabiques de 0,80 × 0,25 están a 2 m. de eje a eje en todos estos modelos. Así es que los largueros y forjados son también iguales.

Pero en cambio los arcos de estos Modelos *no son arcos gemelos,* como en los modelos de carreteras y caminos vecinales, sino que la *bóveda es continua,* con un ancho constante de 4 m. para todos los modelos estudiados.

Esta continuidad es otro de los resultados de la enorme importancia de las sobrecargas admitidas (1) y de las hipótesis hechas sobre las variaciones de volumen del material. Se ha querido proyectar unos Modelos de gran seguridad y de gran masa para disminuir los efectos dinámicos de los trenes, cuyas velocidades cada vez son mayores.

Los tanteos realizados a base de bóvedas gemelas daban lugar a cargas unitarias máximas imposibles de resistir por el hormigón sólo, y además se producían grandes tensiones que, al contrarestarlas con las armaduras que imponían, hacían de las bóvedas verdaderas piezas de H. A. Hubo, por lo tanto, de aumentarse la resistencia incrementando, no solamente los espesores, sino también los anchos.

Decidida la continuidad de la bóveda, se necesitó llegar a los 4 metros, lo que representa un ancho doble del total de los 2 m. que tienen los Modelos para carretera. En éstos las bóvedas ocupan un 33 por 100 del ancho total del tramo, y en los de ferrocarril ha habido que llegar al 87 por 100.

En realidad los Modelos en arco rebajados al 1/4 no son de hormigón en masa.

Sus bóvedas, aunque con pequeñas cuantías, necesitan algunas ar-

(1) En el modelo mayor de los aprobados—28 m. rebajado al 1/4—el peso propio es de 536 toneladas y la sobrecarga máxima puede llegar a 314 toneladas. En el menor—10 m. rebajado al 1/4—el peso propio es de 116 toneladas y la sobrecarga máxima puede llegar a 123 toneladas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

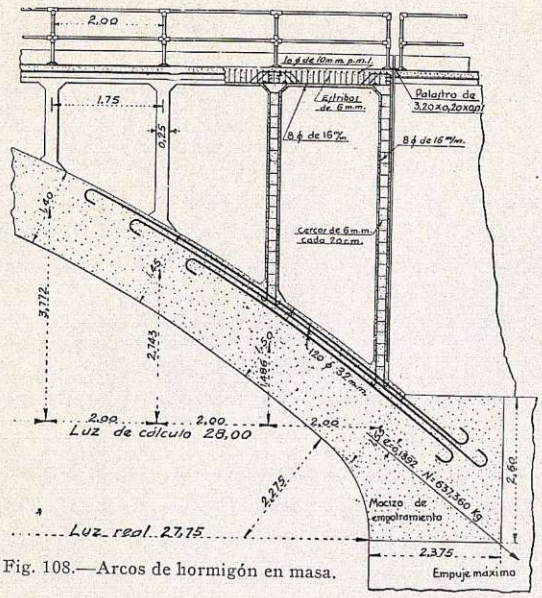


Fig. 108.—Arcos de hormigón en masa.

maduras para resistir a las tensiones que en ellas producen los efectos de temperatura (figs. 107 y 108).

En cambio, en los arcos rebajados al 1/2 no es necesario armar ninguno de los arcos, porque con los espesores adoptados y el peralte de su perfil no se producen en ellos tensiones sensibles (fig. 109).

Las curvas directrices de estos arcos que se justifican en las Memorias respectivas son:

Parábolas de 2.° grado en los arcos rebajados a 1/4.

Parábolas de 4.° grado en los arcos rebajados a 1/2.

Tramos en arco de H. A.

Esta colección consta de 13 modelos rebajados teóricamente al 1/10 y al 1/4, aprobados por R. O. de 9 de diciembre de 1930.

Los rebajados al 1/10 tienen las siguientes luces teóricas: 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45 y 50 m.

Los rebajados al 1/5 (1/4 real) son de: 25, 28, 32, 36 y 40 m.

La estructura de estos modelos es la representada por las figuras 110 y 111, en

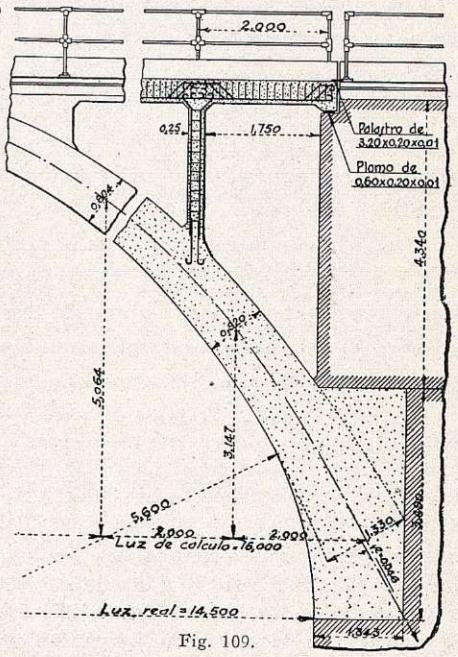


Fig. 109.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

los que, como se ve, para no aumentar con exceso las armaduras de intradós en los arranques o el grueso de las bóvedas, ha sido preciso añadir unos zunchos en espiral.

La distancia entre ejes de tabiques es de 2 m., y el ancho de las bóvedas de 4 m. en todos los modelos, menos en los siguientes:

Hubo que aumentar a 3 m. la distancia entre los tabiques en los arcos de luces de 32 metros en adelante.

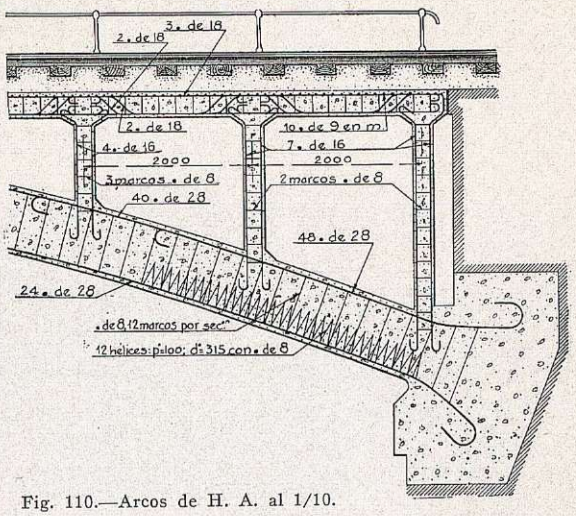


Fig. 110.—Arcos de H. A. al 1/10.

En los arcos rebajados al 1/10, a partir de 36 m. de luz, el ancho de las bóvedas necesitó aumentarse progresivamente hasta alcanzar 4,80 m. en el arco de 50 metros.

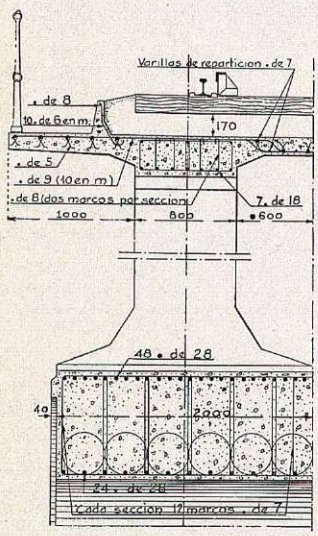


Fig. 111.

Aunque los modelos se han proyectado con armaduras flexibles, se ha previsto el caso en que pudiera convenir substituirlos por armaduras rígidas, y a ese efecto el autor de estos proyectos, D. Alfonso Peña, indica en su Memoria las pequeñas modificaciones que habrían de introducirse en el cálculo para determinar las nuevas secciones rígidas necesarias para sostener el peso de toda la bóveda o de su rosca inferior.

Pliego de condiciones.—Lo incluímos en este tomo como Apéndice 1.º

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

§ IV.—EJEMPLOS DE ALGUNOS PUENTES CONSTRUIDOS CON MODELOS OFICIALES

Se acerca ya a 1.000 el número de tramos rectos o en arco para carreteras construídos en España, Marruecos y Guinea, con arreglo a los modelos oficiales que acabamos de describir (1).

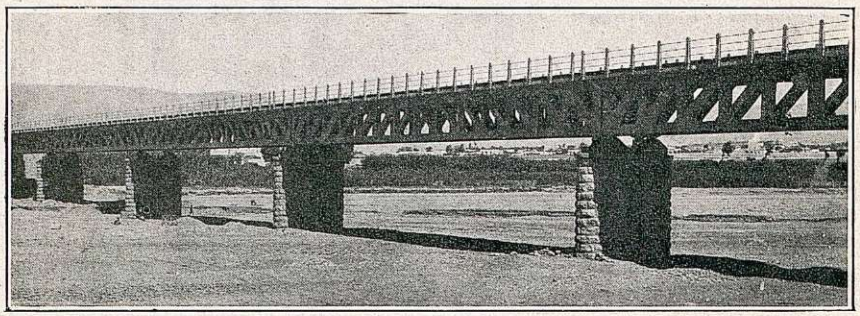


Fig. 112.—Puente de Andarax.

Citaremos algunos ejemplos:

Puente sobre el río Andarax (fig. 112).—Carretera de Almería a la Cuesta de los Castaños, por Níjar (Almería).

---

(1) En la *Revista de Obras Públicas* de 1929, pág. 258, se especifican los tramos en H. A. construídos o en ejecución a fines de 1928, con estricta sujeción a los Modelos oficiales de tramos rectos o en arco para carretera. Eran en total 829; la luz teórica de sus tramos rectos es de 5.459 m. y la luz de los de arco de 861 m. Son estas cifras la más evidente demostración de la utilidad de estos modelos oficiales, teniendo sobre todo en cuenta que sólo tenían entonces seis años de vigencia. De entonces acá se habrán construído otros muchos.

En cuanto a los puentes de ferrocarril, como sus Modelos oficiales se han aprobado recientemente y estaban ya casi todos ellos proyectados y bien estudiados, no han sido aún muy numerosas sus aplicaciones; citamos, sin embargo, el puente en construcción sobre el Guadiana, con 5 arcos de 28 m., rebajados al 1/5, para el ferrocarril de Villanueva de la Serena a Talavera, y un puente viaducto sobre el río Beas, en la segunda sección del ferrocarril de Baeza a Utiel, con 5 tramos rectos de 20 m., disposición empleada para evitar empujes oblicuos en los cimientos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Cinco tramos de 32 m. de los modelos oficiales; sus pilas sólo tienen 1,60 m., lo indispensable para los aparatos de apoyo (1).

Puente sobre el Guadarrama (Toledo) (fig. 113).—Para la carretera de segundo orden de Ventorrillo a Valmojado (2).

Tres arcos de 25 m. rebajados al 1/10 y 11 arcos de 10 m. de hormigón en masa.

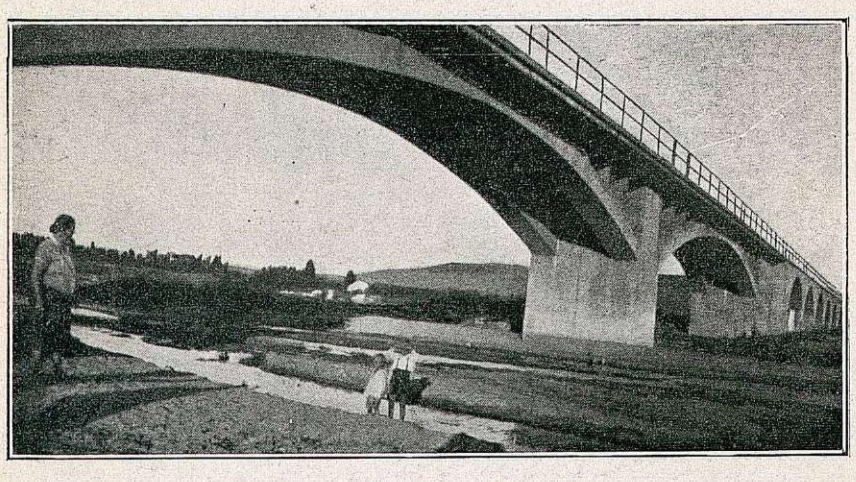


Fig. 113.—Puente sobre el Guadarrama.

Puente sobre el río Guardal (Granada).—Para la carretera de Torreperejil a Huéscar (3).

La gran altura de rasante sobre el río (62 m.) aconsejó el empleo de armaduras rígidas para evitar la cimbra (fig. 114).

Se adoptó el modelo oficial de 36 m. rebajado al 1/4 y un tramo recto de acceso de 10 m.

Puente de Alconetar sobre el río Tajo (Cáceres) para la carretera de Salamanca a Cáceres (fig. 115).

(1) El autor de este proyecto, D. José López Rodríguez, ha escrito dos interesantes artículos sobre la construcción y pruebas del puente, en la *Revista de Obras Públicas* de 1927, págs. 29 y 421.

(2) Autor del proyecto: D. José M. Arambarri.

(3) Autor del proyecto: D. José Méndez y Rodríguez Acosta.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

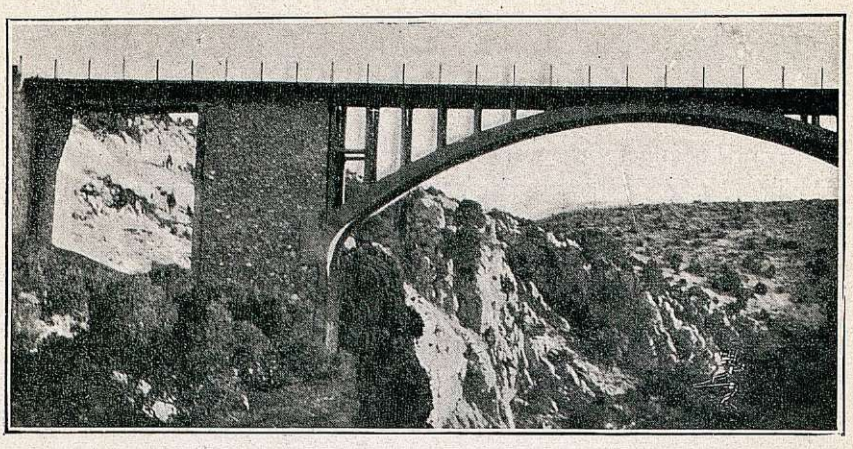


Fig. 114.—Puente sobre el río Guardal.

Doce arcos rebajados al 1/2 de los Modelos oficiales, con luces reales de 27,20 m. Desagüe lineal entre paramentos de estribos, 358,15 m. Altura de rasante sobre fondo de cauce, 21,80 m.

Aunque podía haberse construído este puente sin cimbras, utili-

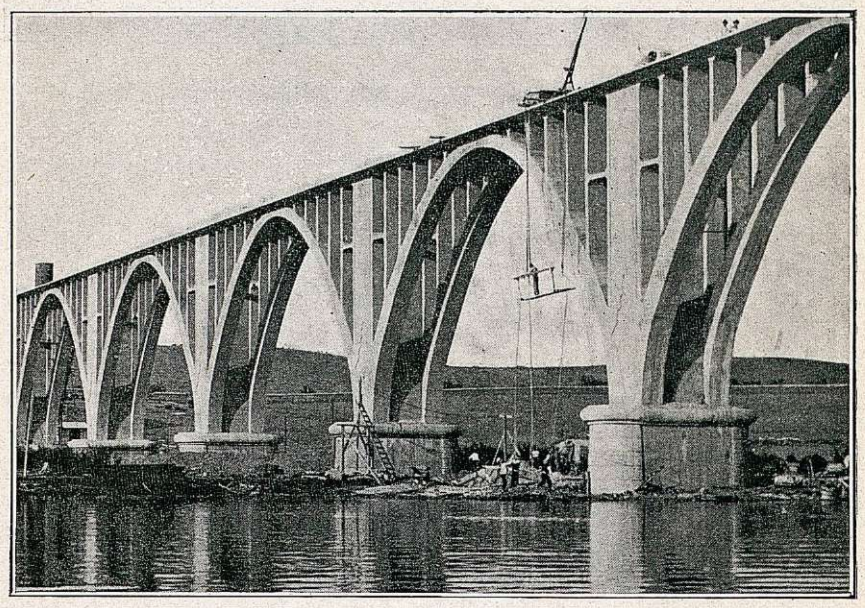


Fig. 115.—Puente de Alconetar.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

zando las armaduras rígidas de sus arcos, los constructores, señores Gamboa y Domingo, prefirieron moldearlos con tres cimbras, que se fueron corriendo en los 12 tramos de arcos iguales.

Tuvieron suerte con las crecidas del Tajo, que sólo les produjo pequeñas averías en el penúltimo arco (1).

El importe total de este puente fué de 1.164.000 pesetas.

Viaducto de la Gaznata (Avila) para la desviación de la carretera de Venta del Obispo a Cebreros, que ha sido necesaria para

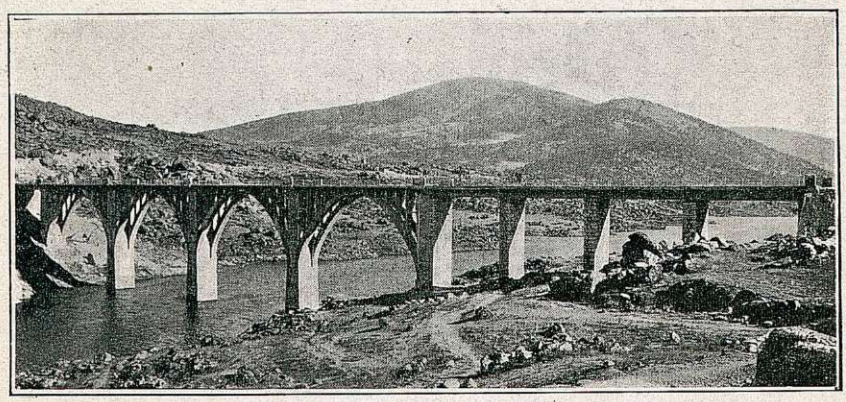


Fig. 116.—Viaducto de la Gaznata (Avila).

substraer este trozo de camino al embalse de la gran presa de Burguillo en el río Alberche (2).

Se compone de 4 arcos del modelo oficial de 25 m. y 5 tramos rectos de 11,50 m. de luz del tipo oficial corregido por el autor.

Cuando, como en este caso, los cimientos son económicos, conviene substituir algunos de los arcos por tramos rectos en aquellas zonas en que no resulten excesivas las alturas de las pilas. Es cuestión de tantear las soluciones posibles (fig. 116).

---

(1) Detalles de la construcción de este importante puente, en la *Revista de Obras Públicas* de 1928, pág. 139, por el ingeniero autor del proyecto e inspector de las obras, D. Cipriano Salvatierra Iriarte.

(2) Proyectado y construído por la Sociedad "Ribera y Compañía", para la Sociedad "Saltos del Alberche"; su montaje se realizó sin cimbras (fig. 87).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Puente sobre el río Júcar, en Jalance (Valencia).—Tres arcos de 45 m. de luz teórica; pilas cimentadas por aire comprimido (figura 117).

Las cerchas metálicas se montaron por medio de unos ligeros

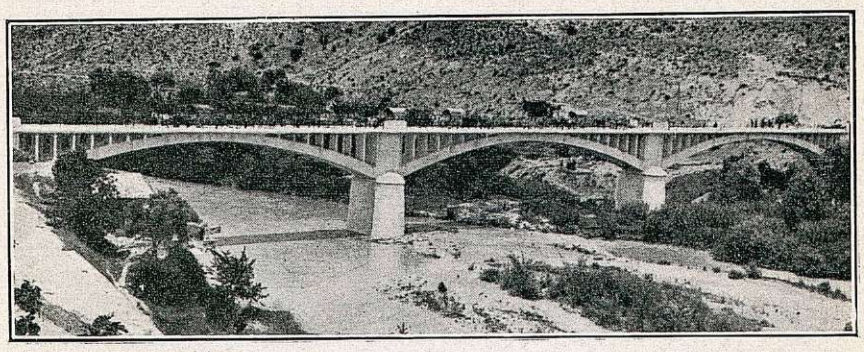


Fig. 117.—Puente sobre el río Júcar.

caballetes colocados en el centro de cada arco; se colgaron después los moldes de aquellas cerchas (1).

En las pruebas, efectuadas el 15 de junio de 1929, la flecha máxima obtenida fué de 1,50 mm.

El presupuesto total de las obras fué de 763.000 pesetas,

§ V.—CONCLUSIONES

Ventajas de estos Modelos.—Ya indicamos en el tomo III (páginas 99 y siguientes) la considerable ganancia de tiempo y dinero que ofrecen estos Modelos de puentes, que permiten alcanzar con gran rapidez la solución óptima en la mayor parte de los casos que en la práctica se presentan, comparando las diversas soluciones con tramos rectos de H. A. o metálicos, con arcos de hormigón en masa o armados, de rebajamientos de 1/10-1/5 y 1/2 que son los más corrientes.

Por mucha experiencia que alcance un Ingeniero, ninguno tendrá

(1) Autor del proyecto, D. José Burguera; ingeniero inspector de las obras, D. Enrique Tamarit.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

la pretensión de acertar, *por intuición personal,* cuál es en cada caso la más conveniente distribución de luces y la preferible elección de materiales y tipos.

Las colecciones de Modelos, con sus cubicaciones, permitirán, pues, la comparación económica de todas las soluciones posibles, escogiéndose éstas entre las que mejor se amolden a los desagües y rasantes de cada puente, y así podrán los Ingenieros aproximarse por someros tanteos a la óptima y más económica solución de la superestructura, haciendo entrar en juego los cimientos y apoyos, que varían en cada caso.

No faltan sin embargo detractores de los Modelos que pretenden que, con su abusiva aplicación, pierden los Ingenieros el hábito del cálculo y el estímulo del estudio para las soluciones propias a cada ejemplo.

El autor considera injusta esta crítica; aun en los casos en que ninguno de los Modelos permitiera su estricta y conveniente aplicación, siempre su estudio facilitará la comparación de las más racionales soluciones y el aproximarse a la más económica,

Pero además es evidente que esos Modelos, cuyos cálculos y cubicaciones se han realizado simultáneamente y casi en serie, han permitido advertir cualquier error numérico importante, que puede escaparse en un proyecto único.

No faltarán puentes que, por sus condiciones de luces, altura y situación, exijan soluciones especiales, y en ellos podrán siempre evidenciar los Ingenieros escrupulosos y conscientes la superioridad de una solución perfectamente amoldada a sus circunstancias.

Pero será mucho mayor el número de puentes en que sean aplicables y, sobre todo, comparables los Modelos oficiales, lo que justifica su frecuente empleo y la evidente economía de tiempo y de dinero que permiten.

Comparación de los Modelos.—Ya desde luego la comparación de los Modelos ha permitido deducir (1) que, por lo que a los puentes carreteros se refiere, *resultan casi siempre más económicos los tramos rectos de H. A. hasta 25 m. de luz, y para luces mayores los*

(1) Estudio comparativo del ingeniero D. José Barcala, publicado en la *Revista de Obras Públicas* de 1.º y 15 de agosto de 1923, cuya lectura recomendamos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

arcos de H. A.; los tramos metálicos resultan siempre más caros.

La comparación de los Modelos para ferrocarriles es más compleja, y no hemos hecho estudios comparativos, tanto más cuanto que en estos años los precios del hierro y cemento han tenido variaciones muy sensibles.

Desde luego era tan evidente la inferioridad de los tramos metálicos de luces inferiores a 20 m. con relación a los de H. A., que no se estudiaron aquéllos.

Para los de mayores luces debe establecerse la comparación en cada caso, a cuyo efecto, para facilitar ese trabajo, incluímos a continuación el cuadro de los pesos por metro lineal de los Modelos oficiales de tramos metálicos para ferrocarriles de vía ancha estudiados por nuestro compañero D. Domingo Mendizábal.

PESO POR METRO LINEAL DE LUZ TEORICA DE TRAMOS METÁLICOS, PARA FERROCARRILES DE VÍA ANCHA

Luz teórica del tramo	VÍA ÚNICA		DOBLE VÍA	
	Tablero superior — Kilogramos	Tablero inferior — Kilogramos	Tablero superior (1) — Kilogramos	Tablero inferior — Kilogramos
20	2.029,1	2.272,7	—	—
22	2.192,9	2.476,9	—	—
23	2.367,4	2.519,0	—	—
28	2.449,0	2.676,1	—	—
32	2.664,6	2.836,9	5.375,0	6.713,4
36	2.964,8	3.058,1	—	—
40	3.044,1	3.414,1	6.212,5	6.874,3
45	3.432,0	3 784,5	6.936,4	7.199,8
50	3.853,5	3.901,5	—	8.155,3

(1) Todos los tramos son de dos vigas principales, a excepción de los de doble vía (tablero superior) que tienen cuatro.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CAPÍTULO IV

GRANDES ARCOS EMPOTRADOS

§ I.—**Consideraciones generales.**

Arcos inferiores o superiores.—Son casos excepcionales.—Ventajas del H. A. Luces máximas que pueden alcanzarse.—Los grandes arcos no pueden someterse a reglas ni modelos.

§ II.—**Grandes arcos con armaduras flexibles en España.**

De la Presa (41,50 m.), Goizueta (Navarra).—Sobre el Nalón (44 m.), en Valduna (Asturias).—De Purchena (50 m.) (Almería).—De San Román de Candamo (70 m.) (Asturias).—De Alarza (70 m.) (Cáceres).

§ III.—**Grandes arcos con armaduras rígidas en España.**

De San Telmo (44 m.), en Sevilla.—De Manzanal del Barco (44 m.) (Zamora).—Puente-viaducto de Siete Lunas (44 m.) (Alicante).—Sobre el Tajo (66 m.) (Guadalajara).

§ IV.—**Grandes arcos inferiores en el extranjero.**

De Forgaria (40 m.) (Italia).—De La Victoria (53,50 m.), en Cremono (Italia).—De Minneápolis (64,30 m.) (Estados Unidos).—De Laval de Cere (67 m.) (Francia).—De la Tournélle (73 m.), en París.—De Plougastel (172,60 m.) (Francia).—De Lisboa (Portugal).

§ V.—**Grandes arcos superiores en el extranjero.**

De Chippis (60 m.) (Suiza).—De Conflans (126 m.) (París).—De Saint-Pierre de Vauvray (131,80 m.) (Francia).

§ VI.—**Conclusiones.**

Pueden reducirse casi siempre las grandes luces.—Inconvenientes de los arcos superiores.—Evolución constructiva de los arcos.—No despreciemos los puentes metálicos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

§ I.—CONSIDERACIONES GENERALES

Arcos inferiores o superiores.—Vamos a estudiar los *grandes arcos empotrados,* cuya luz exceda de 40 m.

Pueden estos arcos ser inferiores, superiores o intermedios al tablero (fig. 118).

En la mayor parte de los casos la rasante de los puentes permite que los arcos, sin rebajamientos excesivos, puedan quedar por debajo del tablero (fig. 118 - A); serán, pues, *arcos inferiores,* y la plataforma del tablero se apoyará sobre los arcos por medio de pilares o tabiques, como si fuera un viaducto de tramos pequeños, que cuando le falte el terreno se apoyan con palizadas sobre el arco, que es el que salva los grandes vanos.

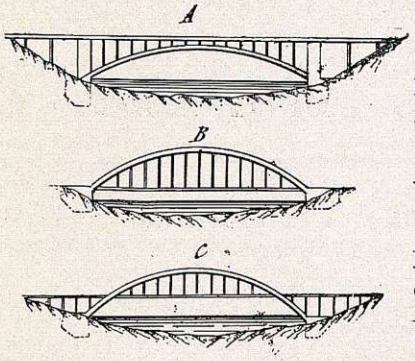


Fig. 118.

Pero hay bastantes casos en que la *rasante obligada del tablero es tan baja,* que no permite situar por debajo arcos de grandes luces, a menos de emplear rebajamientos excesivos. Es preferible entonces, y a veces forzoso, proyectar lo que designamos con el nombre de *arcos superiores.*

Entonces el tablero queda colgado del arco (fig. 118 - B).

Por último, pueden también darse casos en que el tablero quede *intermedio* (fig. 118 - C), y se apoya entonces sobre el arco en los extremos de éste, quedando suspendido en su parte central.

Son casos excepcionales.—Como hemos dicho con insistencia en el tomo III, ha existido y persiste el inmoderado afán, sino de batir el récord de las luces de los puentes, por lo menos la humana vanidad de lucimiento, proyectando grandiosas obras; olvida el Ingeniero que su principal obligación es la de defender con parsimoniosa economía los intereses que le han sido confiados, procurando resolver, con el menor gasto posible, sus problemas constructivos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Por tan censurable como universal dejación de aquellos deberes, se han construído un gran número de puentes en el Extranjero, que serían notables si no empañara su belleza la posibilidad de conseguir igual resultado con obras de menor luz y coste. En España, en cambio, no conocemos ningún puente de luz exagerada, con vistas a la notoriedad; somos aquí poco vanidosos y procuramos evitar los gastos superfluos.

Sin embargo, cuando las rasantes son muy altas sobre anchas barrancadas, cuando los ríos tienen gran profundidad y anchura y sus lechos socavables imponen cimientos profundos y costosos, cuando, por último, existan exigencias de navegación o de monumentalidad, entonces y solamente entonces, es cuando deben estudiarse obras de gran luz.

Pero repetimos que son muy contados los puentes de esta clase (1).

Ventajas del hormigón armado.—Antes de los progresos obtenidos con el hormigón, y sobre todo con el H. A., la mayoría de los puentes y viaductos de grandes luces se proyectaban metálicos.

Pero ya vimos en el tomo III la reacción en favor de los puentes de fábrica y principalmente de hormigón, que caracteriza los últimos cuarenta años, habiéndose construído con dichos materiales grandes bóvedas que excedieron de 100 m. de luz.

Nos parece evidente, sin embargo, que en su mayor parte podían haberse obtenido sensibles economías armando aquellos arcos, obteniéndose así la garantía de que el acero absorbiera las inevitables tensiones que las sobrecargas dinámicas, y sobre todo la temperatura, determinan en los arcos.

Las construcciones de aquellas grandes bóvedas de fábrica alegan en su favor, que si hay tensiones en sus obras, en nada les ha perjudicado; pero el autor sigue creyendo que desde el

(1) En su ya larga vida profesional, y de los 500 tramos que ha proyectado el autor, sólo en cuatro puentes ha necesitado excederse de 40 m. de luz: el puente-viaducto de Pino, con un arco metálico de 120 m.; el puente de Mora del Ebro, sobre el Ebro, donde proyectó cinco tramos metálicos continuos de 50 y 60 m. de luz; el de Amposta, sobre el mismo río, en que proyectó un puente colgado de 135 m., y el de Sevilla, sobre el Guadalquivir, donde las bases del concurso exigían dos tramos fijos de 45 m. y un tramo levadizo de 50 m.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

momento en que la adición de armaduras no perjudica ni encarece el arco, su presencia no sólo puede facilitar la construcción, sino que produce una sensación de tranquilidad para lo futuro, que le inclina cada día más a proyectarlos armados.

Luces máximas que pueden alcanzarse.—Ya se han alcanzado con el H. A. luces de 172,60 m. en el puente de Plougastel, que luego describiremos.

Su autor, el eminente ingeniero Freyssinet, que es sin disputa el más audaz e innovador de todos los constructores del día, y al que nos complace rendir aquí un tributo de admiración, pretende teóricamente que con sus disposiciones y procedimientos constructivos pueden ejecutarse arcos de hormigón armado de 500 a 1.000 m. de luz (1), con sensible economía sobre los arcos metálicos o tramos colgados de iguales luces.

En las conclusiones de este capítulo VI resumiremos el estado de este problema, de interesantísima actualidad.

Los grandes arcos no pueden someterse a reglas ni modelos.—Cuanto hemos dicho en el capítulo II, respecto a los arcos inferiores a 40 m. de luz, es solamente aplicable en parte a los arcos de mayores luces.

En éstos, los pesos muertos de tablero, pilares y arcos crecen en importancia por la mayor altura de los tímpanos, que obliga a distanciar, fortaleciéndolos, los apoyos del tablero.

Asimismo, en los grandes arcos, las diferencias de peso entre unas armaduras elásticas y otras rígidas, quizá desvirtúen las ventajas que allí enumeramos en favor de las últimas, si bien, en cambio, el gasto de las cimbras por metro lineal de puente crecerá también con las luces.

Cada caso será, pues, un problema diferente, en el que el Ingeniero, aunque inspirándose en los ejemplos aplicables a su caso, deberá introducir en ellos las variantes que puedan mejorarlos.

---

(1) Nota de M. E. Freyssinet, en el Congreso de Lieja de 1930, sobre la "Posibilidad de substituir con arcos de hormigón los puentes metálicos de muy grandes luces".

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Por esta razón, en vez de explicar reglas, *reseñaremos ejemplos.* Los escogemos entre los grandes arcos inferiores y superiores más característicos de España y del Extranjero.

§ II.—GRANDES ARCOS CON ARMADURAS FLEXIBLES, EN ESPAÑA

Puente de la Presa, en Goizueta (Navarra). — Construído en 1916, sobre el río Ollín, para la carretera de Lecumberri a Hernani (fig. 119).

Fig. 117.—Puente de Goizueta (Navarra).

Está compuesto por dos arcos parabólicos de 41,50 m. de luz y flecha de 7,925 m.

Los arcos son de ancho constante de 0,80 m. y alturas de 1,60 a 1,15 m.

El ancho del puente es de 6 m. (1).

(1) Autor del proyecto y director de las obras: D. Alfonso Peña Boeuf, que publicó detalles y cálculos en la *Revista de Obras Públicas* de 6 de diciembre de 1916.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

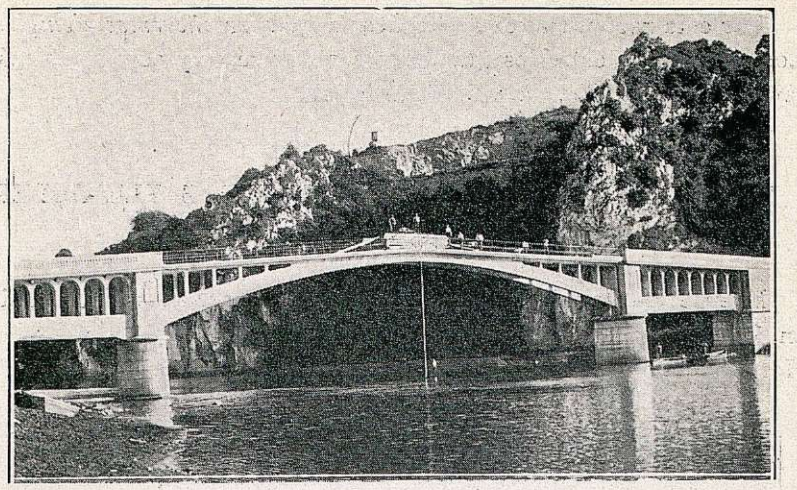


Fig. 120.—Puente de Valduno (Asturias).

Puente sobre el río Nalón, en Valduno (Asturias).—El arco central, de 44 m., se fijó por la facilidad de cimentación de las pilas, completándose el desagüe con dos tramos laterales de 14 m. (figs. 120 y 121).

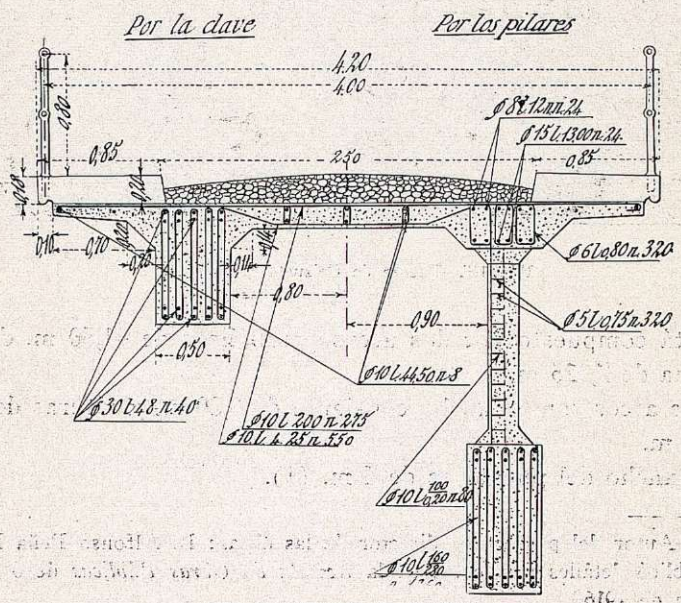


Fig. 121.—Puente de Valduno.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Por economía se construyó de simple vía el arco central, cuya directriz es una parábola de segundo grado, y de doble vía el resto del puente; para reducir el espesor de pilas y cimientos, el Ingeniero proyectó en los tramos laterales dos fuertes vigas rectas, al nivel de los arranques del arco central, que apuntalan las pilas, por decirlo así, transmitiendo a los estribos extremos las componentes horizontales de los empujes del arco.

Es una disposición original y económica, pues que todo el puente sólo costó 160.000 pesetas, de las que 41.000 corresponden a las pilas y estribos (1).

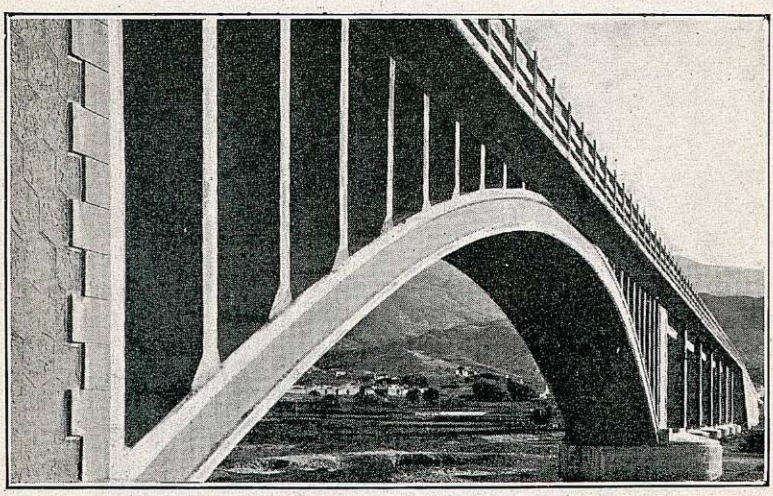


Fig. 122.—Puente de Purchena (Almería).

Puente de Purchena, sobre el Almanzora (fig. 122).—Construído en 1929, para la carretera de Baza a Huércal Overa (Almería).

Un arco de 50 m. y 5 tramos rectos de 13,80 m. de luz (2).

(1) Acaba de construirse por la Diputación provincial de Oviedo, para el camino vecinal de acceso a la estación de Vega, en el ferrocarril Vascoasturiano. Autor del proyecto y director de las obras: ingeniero D. Leonardo García Ovies, que publicará más detalles del mismo en un próximo número de la *Revista de Obras Públicas*.

(2) Ingeniero autor del proyecto: D. Angel Elul Navarro.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

La directriz es la parábola de cuarto grado preconizada por nuestro compañero Sr. López Rodríguez:

$$y = 4{,}032\,(6{,}5x)\,(1 - x) - x^2\,(1 - x^2)$$

Como el lecho del río está seco durante muchos meses, se prefirió construir el arco con simples armaduras flexibles de redondos sobre cimbras del tipo corriente.

El ancho constante del arco es de 4,20 m. y sus espesores de 0,96 y 0,90 m. en arranques y clave. Sus armaduras son de 24 barras de 20 mm. -12 en intradós y 12 en trasdós, con cercos de 6 mm. a 30 cm. de distancia.

En cambio, los tabiques de tímpanos y los tableros son del tipo de nuestros Modelos oficiales.

El arco de 50 m. tenía un presupuesto de:

Cimientos	32.011,84	pesetas.
Alzado	74.209,20	—
Cimbra	28.000,00	—

La presión máxima sobre el terreno en el estribo es de 3,67 kg./cm².

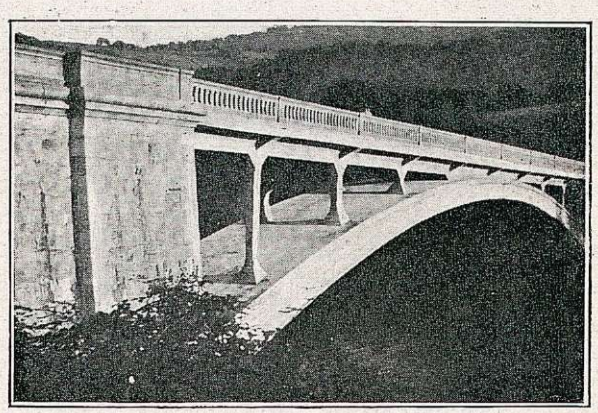


Fig. 123.—Puente en San Román (Asturias).

Puente de San Román de Candamo, sobre el Nalón (Asturias). Constituído por un solo arco parabólico de 72 m. de luz (figuras 123 a 125) para evitar una pila intermedia de costoso cimien-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

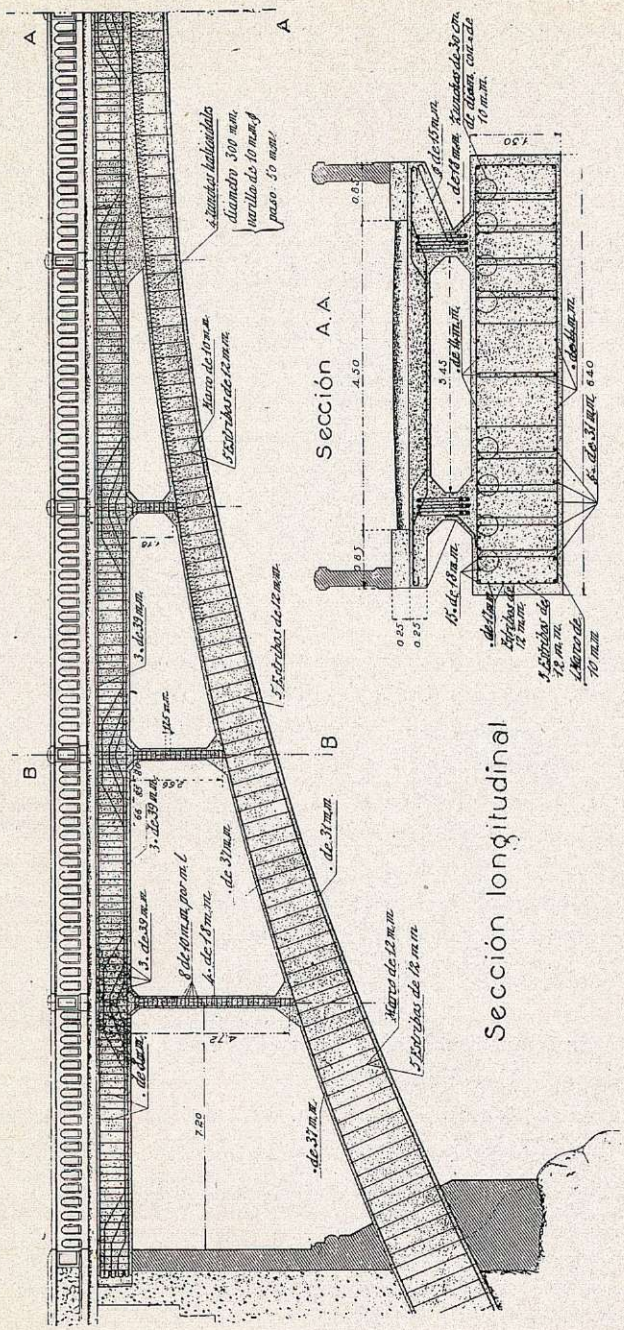


Fig. 124.—Puente de San Román (Asturias).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

to, por la profundidad del agua y del terreno firme en aquel emplazamiento.

Se adoptaron las armaduras flexibles para el arco, y gracias a la rapidez con que fué construído (siete meses) pudo su cimbra y el puente escapar a una crecida impetuosa ocurrida a los pocos días de comenzado el descimbramiento: así es que el muy distinguido autor de este proyecto, D. Javier Marquina, reconoce el peligro corrido, que pudo evitarse con armaduras rígidas, aunque "éstas satisfagan menos el espíritu mecánico del calculista".

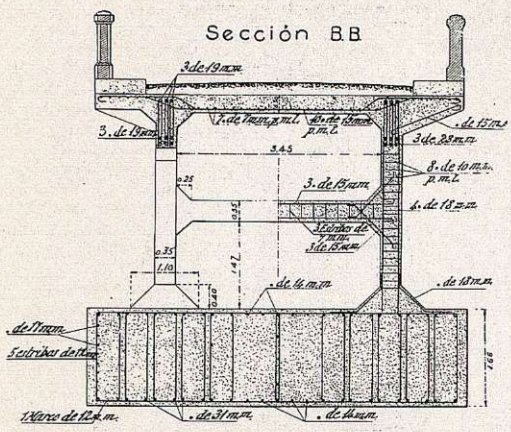


Fig 125.—Puente San Román.

Para reducir el trabajo del hormigón en el arco, el autor reforzó sus armaduras longitudinades del tradós con zunchos helizoidales.

Para reducir el trabajo del hormigón en el arco, el autor reforzó sus armaduras longitudinales del tradós con zunchos helizoidales (fig. 124).

No se observó ninguna grieta durante la construcción ni durante las pruebas, que sólo dieron 2 mm. de flecha permanente, y como las proporciones del puente son elegantes y su presupuesto de contrata fué sólo de 512.000 pesetas, merece su autor los elogios con que se le ha distinguido (1).

Puente de Alarza, sobre el Tajo (Cáceres).—Para la carretera de Guadalupe a Navalmoral.

Consta de un tramo central de 70 m. de luz y 17 m. de flecha, formado por dos arcos gemelos de H. A. con aceros redondos y dos tramos laterales de 20 m. de luz (figs. 126 y 127).

---

(1) Deben leerse los interesantes detalles que sobre el proyecto, ejecución y pruebas, escribió D. Javier Marquina en la *Revista de Obras Públicas*. Año 1923, pág. 209, y año 1924, pág. 153.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

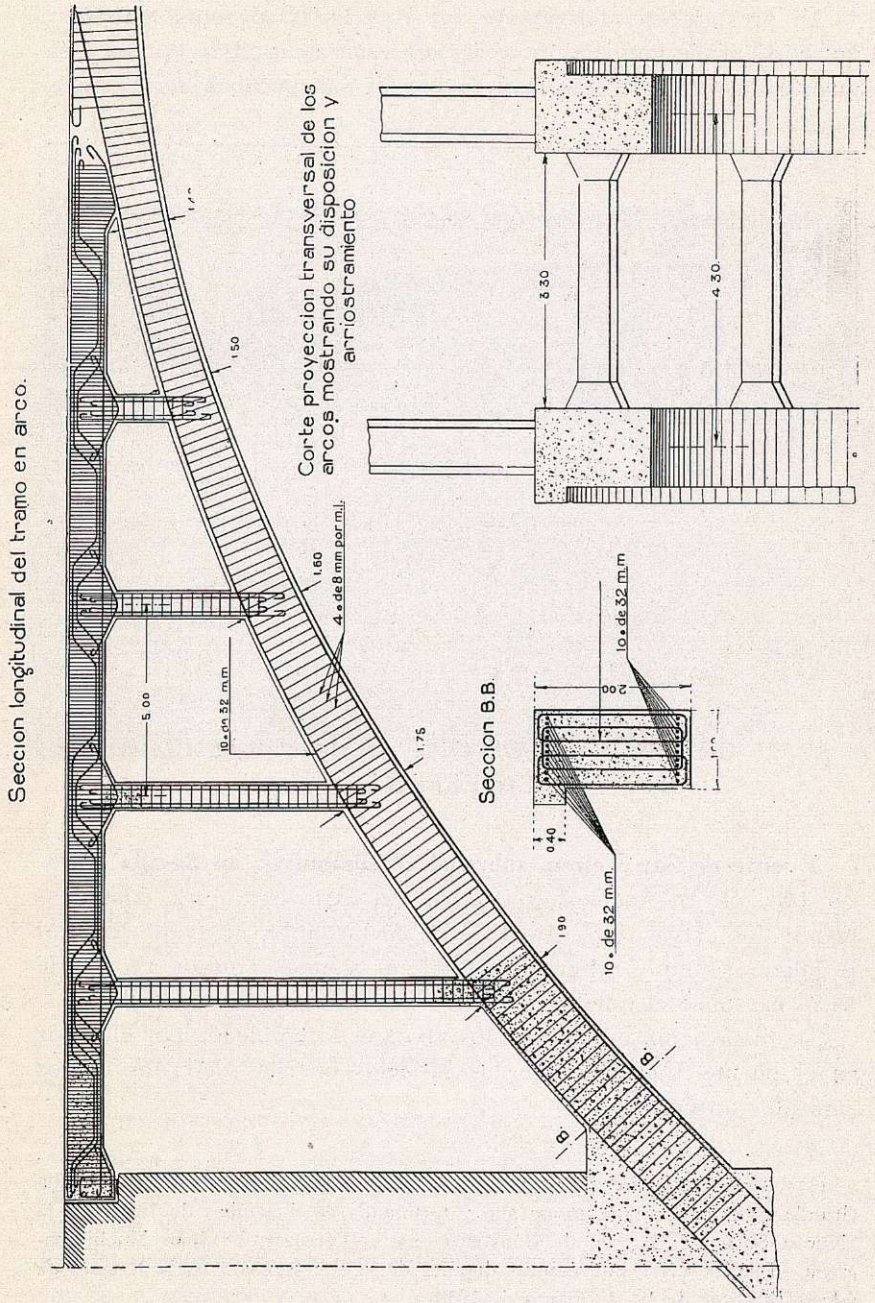


Fig. 127.—Puente de Alarza (Cáceres).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

El presupuesto del puente fué de 711.000 pesetas, que para unos 150 m. de longitud de obra, representa un gasto por m. l. de puente de 4.700 pesetas; las flechas de las pruebas reglamenta-

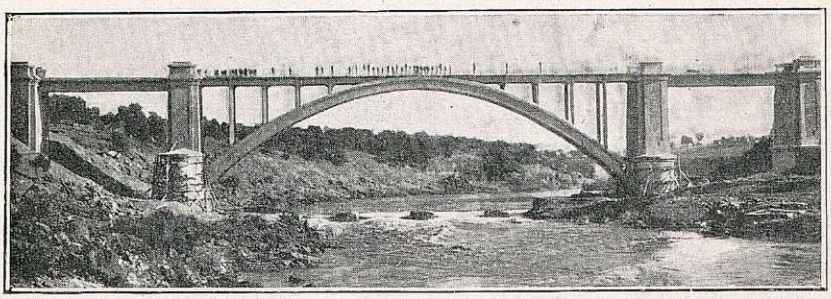


Fig. 126.—Puente de Alarza (Cáceres).

rias fueron de 1 mm. en el arco y 3,8 mm. en los tramos rectos.

Es una obra bien concebida y proyectada y rápida y perfectamente ejecutada, que honra a los ingenieros que en ella intervinieron (1).

§ III.—GRANDES ARCOS CON ARMADURAS RIGIDAS, EN ESPAÑA

Puente de San Telmo, sobre el Guadalquivir, en Sevilla (figuras 128 a 131.—Acaba de probarse con éxito esta obra, compuesta por dos arcos de H. A. de 44 m. de luz libre, un tramo central levadizo, sistema Scherzer, de 50 m. y unos tramos rectos de 14,50 m. sobre el muelle del puerto en su margen izquierda.

La disposición general de los arcos es la empleada por el autor en el puente Victoria y en los Modelos oficiales descritos en los capítulos anteriores.

---

(1) Ingeniero autor del proyecto y director de la obra: D. César Villalba Granda.—Obra ejecutada en un año y terminada en diciembre de 1929, por la "Nueva Sociedad General de Construcciones".—Director, D. Juan Machimbarrena.—Pueden verse interesantes detalles de la construcción en la *Revista de Obras Públicas* de 1.º de marzo de 1930.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Su anchura, de 15 m., está, por lo tanto, dividida en:

Dos arcos gemelos en parábola de 2º-grado, de 2,50 m. de anchura, correspondientes a los andenes.

Un tablero de H. A. de 10 m. de luz, compuesto por viguetas que se apoyan en los tabiques de tímpanos, a 2,52 m. de distancia.

Fig. 128.—Puente de San Telmo.

La forma circular de los arcos de tímpanos, sólo se ha dispuesto en los dos paramentos exteriores en un ancho de 0,25 m.; en el resto de la anchura del puente, un simple forjado de 0,20 m. y 2,12 m. de luz se apoya sobre el resto de los tabiques y sobre las viguetas.

El pavimento de la calzada es de losetas de asfalto comprimido de 5 cm.

Para los efectos de la dilatación, los tabiques y viguetas inmediatos a pilas y estribos están separados de éstos, quedando juntas libres, en la forma adoptada en los Modelos oficiales de puentes ya descritos (tomo III, pág. 209).

El presupuesto de esta solución resultó inferior en 30 por 100 al de la solución metálica propuesta por una reputada firma ex-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

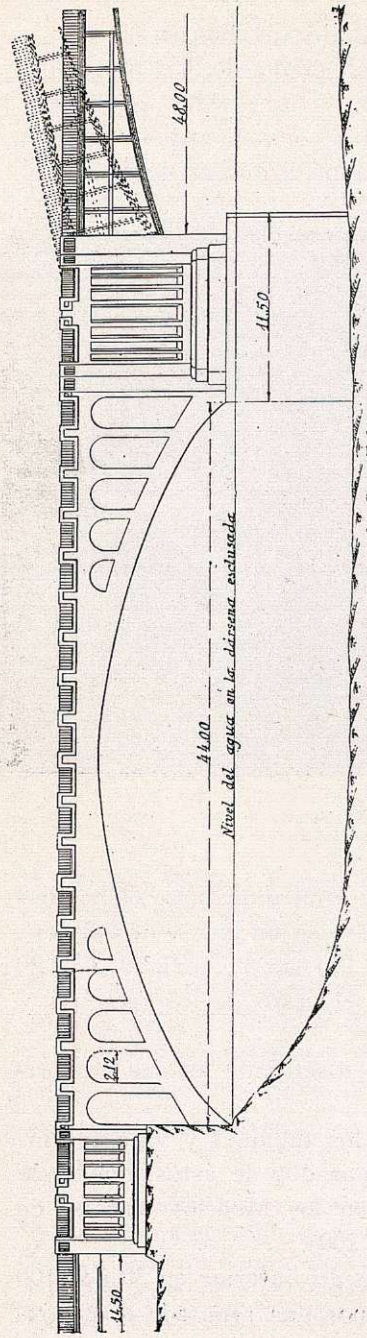


Fig. 129.—Sección longitudinal del puente de San Telmo.

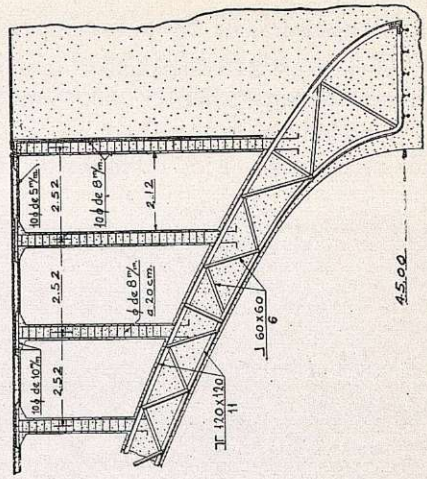


Fig. 131.—Detalle de la armadura.

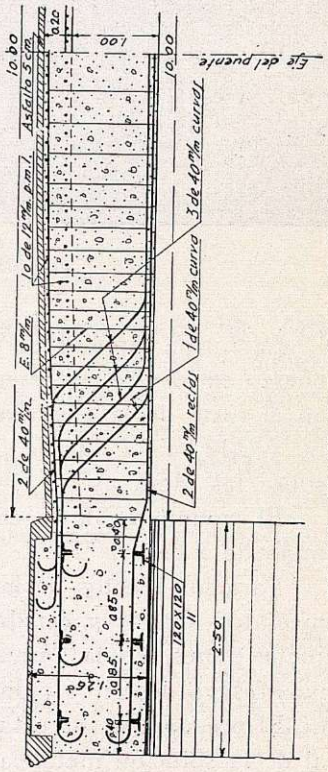


Fig. 130.—Sección transversal por la clave.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tranjera en el Concurso internacional que se abrió el año 1920, para los proyectos y ejecución de este puente.

Tan considerable economía fué debida a las causas siguientes:

a) Los arcos de 44 m. de luz de H. A. resultaron de mucho menor coste que los tramos metálicos de igual luz.

b) La disposición de arcos gemelos permitió suprimir en una anchura de 10 m. la parte central de las pilas y estribos *y de sus cimientos neumáticos* (1).

c) Las armaduras rígidas de los arcos permitieron su montaje con la economía y facilidad que expusimos en el capítulo II (fig. 88), *ahorrándose, merced a esta disposición, el enorme gasto de cimbras y andamios de todas las demás soluciones de puentes, en un río tan caudaloso* (2).

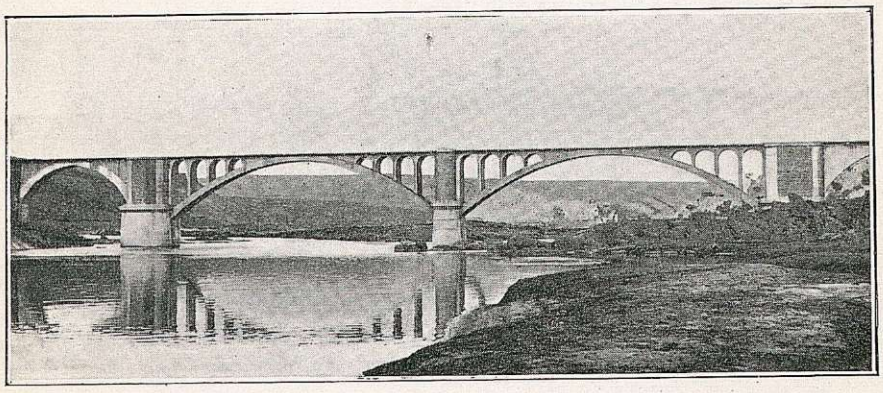


Fig. 132.—Puente de Manzanal del Barco (Zamora).

Puente de Manzanal del Barco, sobre el Esla (Zamora) (3).—Dos arcos parabólicos de 2º grado de 45 m. de luz de cálculo,

(1) Descritos en el tomo II de este libro (segunda edición, pág. 194.).

(2) Proyecto del autor, ejecutado por la "Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles", que preside, cuyos ingenieros, señores D. Eduardo Torroja y D. José Entrecanales, y el veterano constructor D. Manuel Távora, rivalizaron en inteligencia para resolver las múltiples dificultades constructivas que se presentaron en cimientos y alzados y cuyos detalles pueden leerse en la *Revista de Obras Públicas* de 15 de septiembre de 1931 y en el *Genie Civil* de 19 de septiembre de 1931.

(3) Para el camino vecinal de La Hiniesta a Carvajales, construído en 1927 por la Diputacin provincial de Zamora. Autor del proyecto: Ingeniero D. Antonio Díaz Burgos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

con armaduras rígidas del tipo de los modelos oficiales y dos arcos laterales de 20 m. de luz.

Bóveda única de 2,30 m. y 2 voladizos de 0,7 m.; calzada de 2.20 m., andenes de 0,78 m. sobre ménsulas distanciadas a 3,60 m. (figuras 132 y 133).

Como las pilas y estribos se cimentaron directamente sobre las peñas del cauce, el coste del puente sólo fué de 191.126 pese-

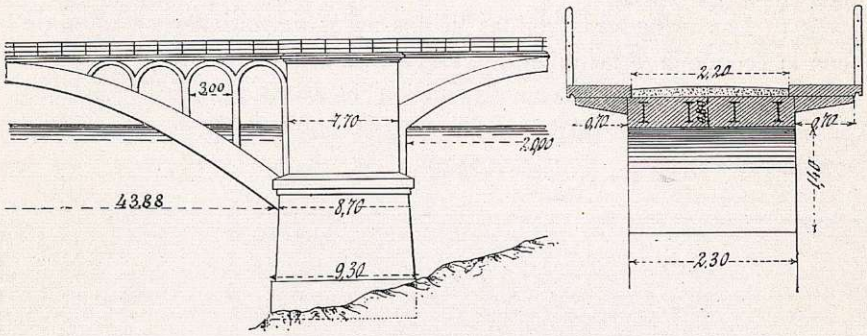


Fig. 133.—Puente de Manzanal del Barco.

tas, es decir, poco más de 1.000 pesetas por metro lineal, que es excepcionalmente económico.

Se realizó el montaje de las cerchas rígidas del arco mediante cables, que permitieron transportar y suspender sus diferentes trozos (fig. 86).

Puente viaducto de Siete Lunas, en el ferrocarril de vía ancha de Alicante a Alcoy (1).—Se acaban de construir para esta nueva línea dos puentes viaductos con arcos de H. A. rebajados y a estribos perdidos.

El de Siete Lunas (fig. 134) tiene 44 m. de luz, 8,80 m. de flecha y 20 m. de altura sobre el barranco; el del Viaducto del Zinc, 40 m. de luz y 8 m. de flecha.

Las armaduras de ambos arcos son semirrígidas, del tipo descrito en el capítulo II (fig. 70).

---

(1) Detalles en la *Revista de Obras Públicas*. Año 1929 (págs. 349 y 365). Artículos del autor de su proyecto, D. José Roselló.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

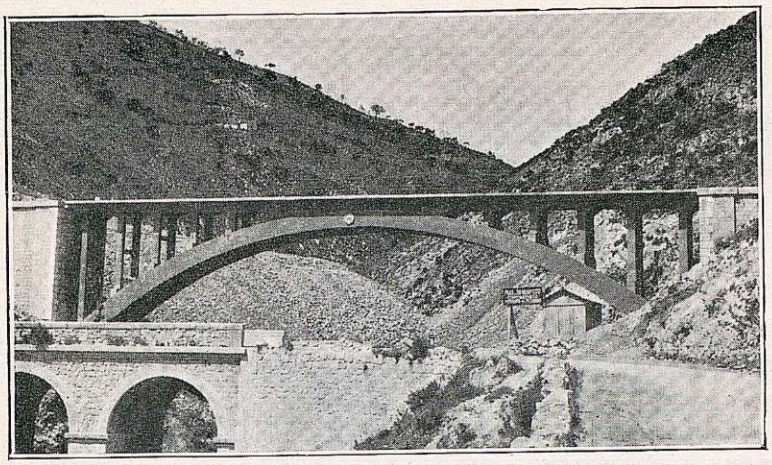


Fig. 134.—Viaducto de Siete Lunas.

Puente sobre el Tajo, entre Vellisca y Carabaña (Guadalajara).—Está en construcción y será el mayor arco con armaduras rígidas que se ejecute en España, pues con un rebajamiento de 1/10 tiene 66 m. de luz libre.

Su disposición y dimensiones generales (fig. 135) son iguales

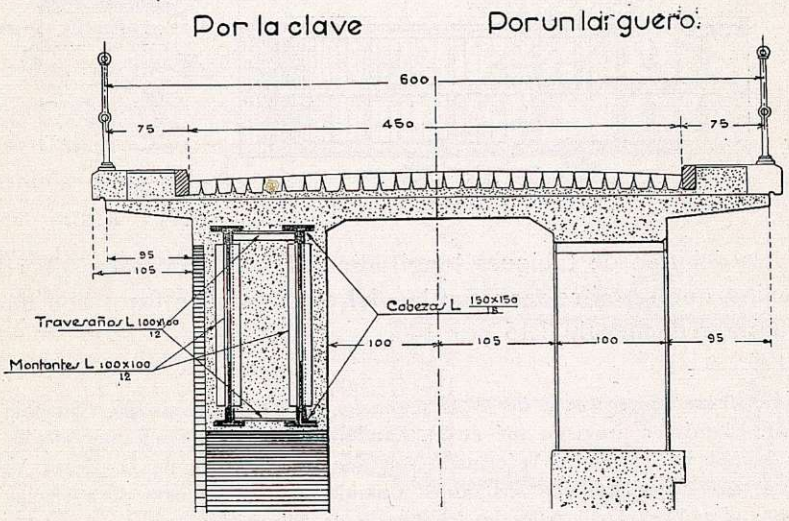


Fig. 135.—Puente sobre el Tajo (Guadalajara).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

a las de nuestros modelos oficiales, salvo que se ha aumentado de 2 a 3 m. la distancia entre ejes de los tabiques.

Los arcos gemelos tienen alturas de 2,50 m. en arranques y 1,90 m. en la clave (1).

§ IV.—GRANDES ARCOS INFERIORES, EN EL EXTRANJERO

Puente de Forgaria, sobre el Arzino (Italia) (2).—Construído por los ingenieros militares italianos y destruído por los austríacos en su retirada de 1918 (fig. 136).

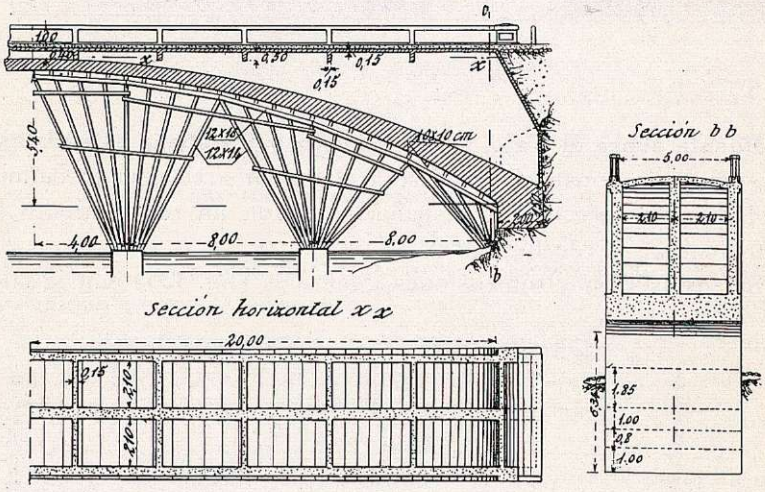


Fig. 136.—Puente de Forgaria (Italia).

Es del tipo de tabiques longitudinales, con armaduras de redondos, que se entrelazan con las del arco, pero en éstos con una cuantía reducida de 1,15 por 100.

(1) Para la carretera de la estación de Vellisca a Carabaña (Guadalajara). El primer proyecto fué de D. Landelino Crespo y D. Ramón de Torre Isunza y el proyecto reformado con que se construye de D. César Villalba, que dirige también sus obras. Cuando se termine esta obra seguramente se publicarán detalles en la *Revista de Obras Públicas.*

(2) Detalles en *Ponti in cemento armato,* de Santarella. Láminas 63 y 64.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Para 40 m. de luz, los espesores del arco son de 0,50 m. en la clave y 1,10 m. en los arranques.

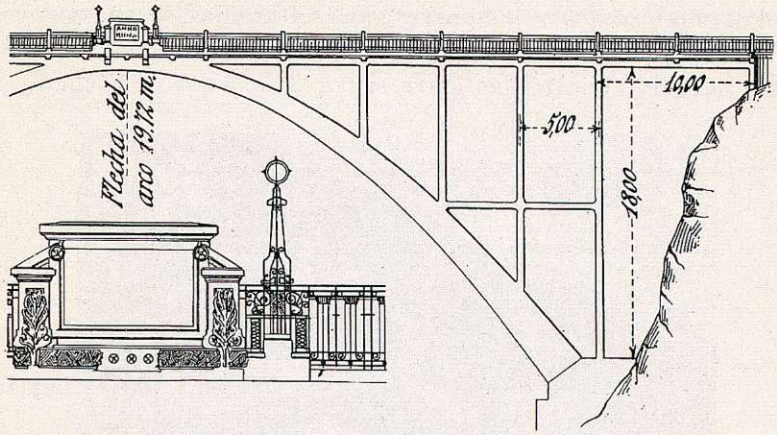


Fig. 137.—Puente de la Victoria (Italia).

Obsérvese la importancia de las cimbras, que hubieran podido evitarse con armaduras rígidas.

Puente de la Victoria, sobre el Pioverna, en Cremona (Italia). — Entre los muchos puentes de H. A. construídos por los ingenieros italianos, sobre todo después de la guerra, merece citarse este puente, que salva una profunda depresión del río y a 86 metros de su nivel, por lo que en realidad es un puente-viaducto (figs. 137 a 139).

Su vano central se ha salvado por dos cerchas de 53,50 m. de luz y 19,72 metros de flecha, con la curva

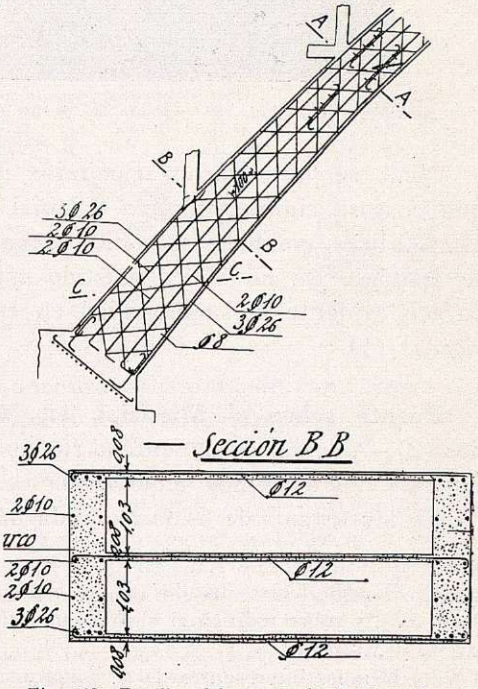


Fig. 138.—Detalles del puente de la Victoria (Italia).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

del funicular del peso propio, aumentado en la mitad de la máxima sobrecarga uniforme.

Las dos cerchas y los pilares que sobre ellas se apoyan, van en planos inclinados, para resistir a los esfuerzos del viento, y están además arriostradas entre sí por 3 forjados de 8 cm.

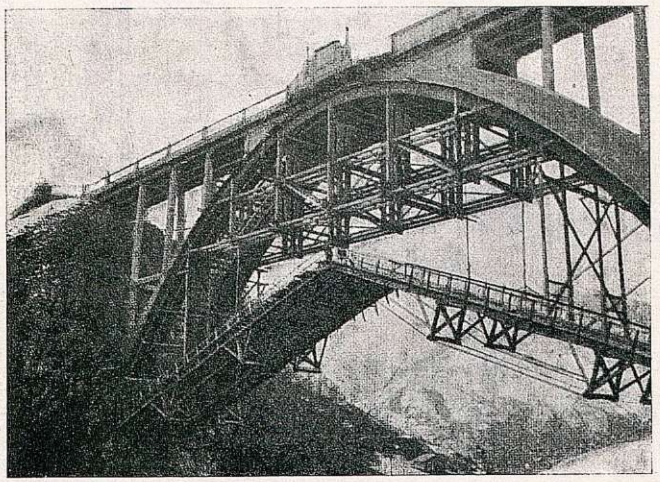


Fig. 139.—Cimbra del puente de la Victoria.

Como se proyectaron armaduras flexibles, hubo que emplear una costosa cimbra, de tipo original (fig. 139), que sólo costó 140.000 liras, por haberse podido utilizar la cimbra de otro puente análogo. De no haber existido esta circunstancia favorable, parece evidente la superioridad en este caso de las armaduras rígidas (1).

Puente sobre el Missisipí, en Minneápolis (Estados Unidos (2).—Corta oblicuamente al río con tramos en arco de 64,30 m. de luz y dos extremos de 40,85 m.

En los tramos de 64,30 m., cada uno de ellos está constituído

(1) Pueden leerse detalles en la *Revista de Obras Públicas,* año 1927 (pág. 322), y sobre todo en el libro *Ponti Italiano in cemento armato,* de Santarella y Miozzi.

(2) Detalles interesantes de su construccion en la *Revista de Obras Públicas* de 30 de noviembre de 1916.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

por tres arcos (fig. 140), armados el central con 6 cerchas de armaduras rígidas en celosía y los laterales con 4 cerchas.

Los tramos de 40,85 m. de luz llevan bóvedas continuas, pero su armadura es también del tipo rígido.

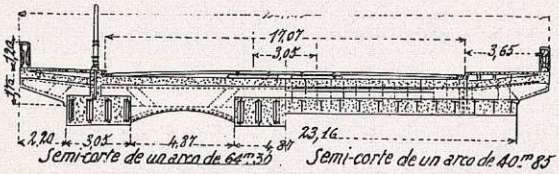


Fig. 140.—Puente de Minneápolis (E. U. A.).

Los tímpanos con pilares que sirven de apoyo al tablero y el forjado son de tipo corriente (1).

Puente de Laval de Cère, para un empalme con la red del ferrocarril de París a Orleans (fig. 141).—De vía normal; un arco de 67 m. de luz y 10 m. de flecha.

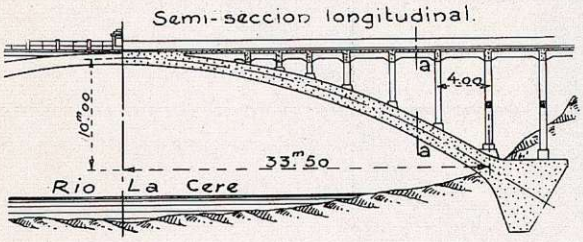


Fig. 141.—Puente de Laval de Cère (Francia).

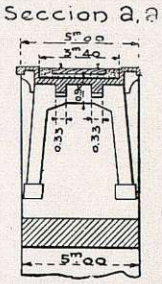


Fig. 141 bis.

La bóveda continua, de anchura constante de 5 m., tiene espesores de 0,80 m. en la clave y 1,40 en arranques.

(1) Posteriormente se ha construído en la misma población y sobre el Missisipí otros dos grandes puentes. Uno de ellos, descrito en *Ingeniería y Construcción,* de julio de 1920, tiene un arco central de 121,92 m. y dos laterales de 60,66 m.; otro, descrito en la *Revista de Obras Públicas* de 15 de diciembre de 1927, tiene tres arcos centrales de 90 m. y los dos extremos de 42 m.

El primero de estos arcos mantuvo el *record* de luces entre los de H. A., hasta que los de Saint-Pierre de Vauvray (131,30 m.) y el de Plougastel (187 m.), que luego citamos, sobrepasaron a aquél.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Soporta el tablero por parejas de pilares a 4,00 m. de distancia.

Las armaduras del arco son continuas y se soldaron con autógeno. Para el hormigón de la bóveda se empleó supercemento, que permitió hacer trabajar el hormigón a 90 kg./cm².

Podía haberse proyectado una pila central, reduciéndose las luces del arco a poco más de 30 m., y, a nuestro juicio, con sensible economía.

Puente de la Tournelle, sobre el Sena, en París (1).—Substituye a un muy antiguo puente con bóvedas de pequeña luz, que obstruía las inundaciones del río Sena (fig. 142).

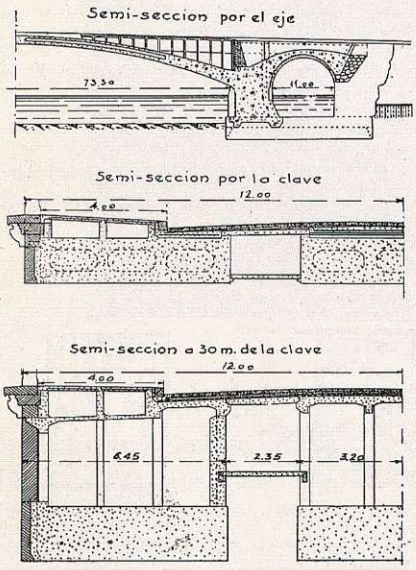


Fig. 142.—Puente de la Tournelle (París).

El tramo principal de 73,30 metros de luz, está compuesto por tres arcos gemelos de H. A. de 6,45 m. de ancho a 2,75 m. de distancia. El espesor de estos arcos varía de 2,28 m. en los arranques a 1,40 m. en la clave.

Estos arcos están aligerados longitudinalmente en 2/3 de su longitud en la forma representada por las figuras; en sus paramentos exteriores se han recubierto los arcos con sillares de piedra natural, con un despiezo que les da aspecto de un puente de sillería.

El tablero se apoya sobre los arcos por medio de tabiques longitudinales en los bordes de cada arco y de pilares intermedios.

Se terminó en 1928, costando 12,5 millones de francos.

Puente sobre el Elorn, en Plougastel (cerca de Brest).—Inaugurado el 9 de octubre de 1930 por el Presidente de la República francesa (figs. 143 a 146).

(1) Detalles en *Genie Civil* de 17 de marzo de 1928. Ingenieros: M. M. Deval, Lang y Retraint.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

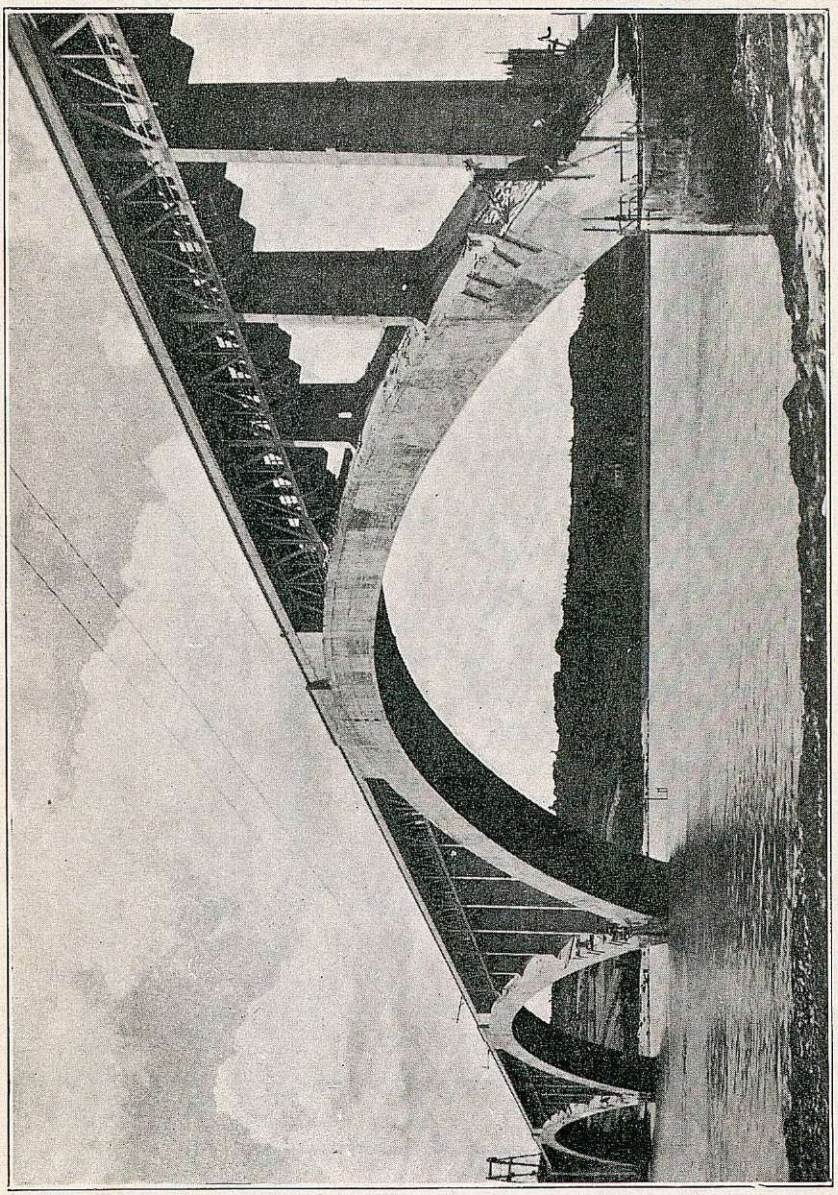


Fig. 143.—Vista general del puente de Plougastel,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

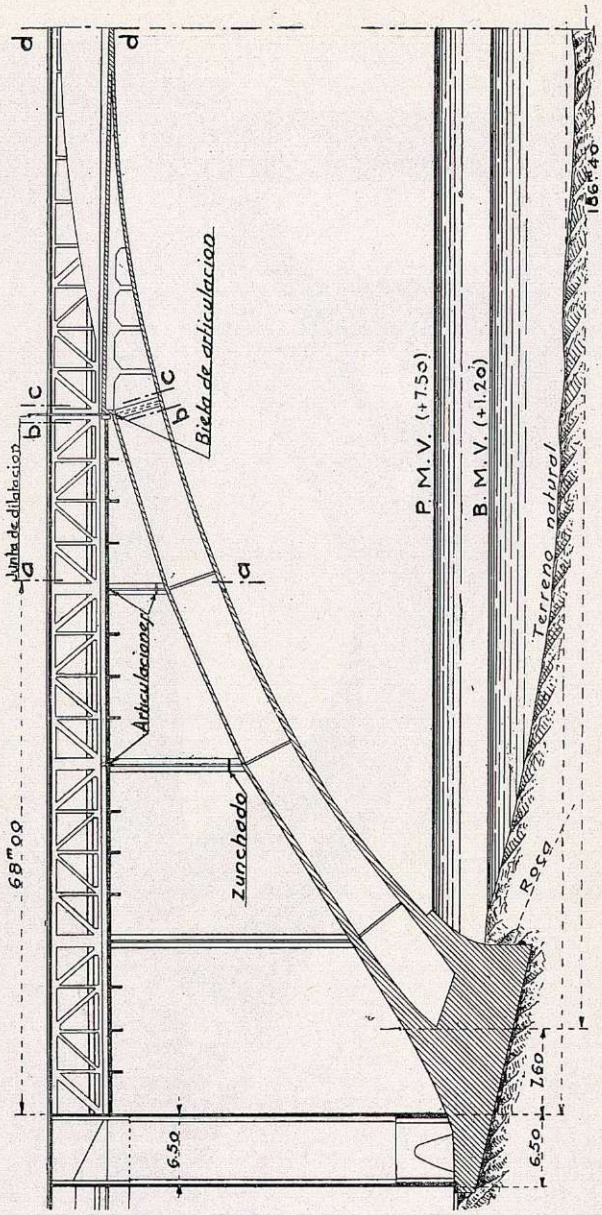
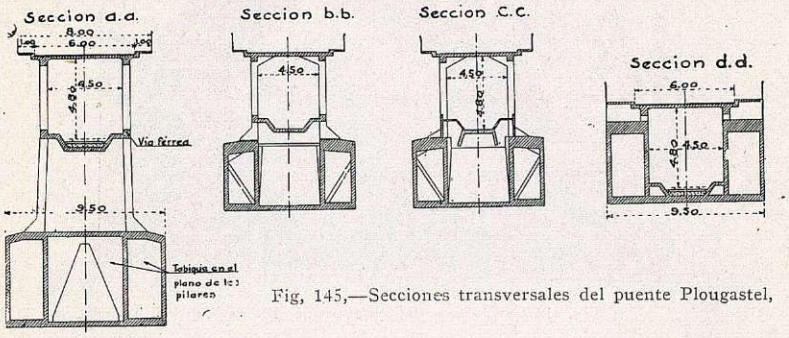


Fig. 144.—Sección longitudinal del puente de Plougastel,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tres arcos de H. A. de 172,60 m. de luz; son los mayores del mundo hasta la fecha y honran a la Ingeniería francesa y a su autor, el eminente ingeniero M. E. Freyssinet (1).



Fig, 145,—Secciones transversales del puente Plougastel,

Además de sus excepcionales dimensiones, las características de esta grandiosa obra son:

1.° Que los arcos son huecos, como luego veremos en el de Saint-Pierre de Vauvray.

2.° Que los tableros son dobles: el de arriba para doble vía carretera, el inferior para una vía férrea de ancho normal francés.

3.° En las disposiciones para contrarrestar los efectos de la temperatura, muy sensibles en un puente de cerca de medio kilómetro de longitud.

Los arcos pueden dilatarse libremente, pero el tablero tiene que cortarse en ciertos puntos; se han escogido los puntos de apoyo de la cuarta viga triangulada, sobre el arco y de cada lado de éste. El apoyo del tablero sobre el arco se realiza por unas bielas con dos articulaciones (sistema Freyssinet), que asegura la completa libertad de la dilatación. La palizada de apoyo del tablero más próxima a la clave se articula también casi en sus extremos (véase la fig. 144). La que viene después, sólo tiene una articulación en su parte alta y su base se ha zunchado con objeto de que pueda resistir las flexiones parásitas que le produzca la dilatación del tablero.

---

(1) Autor de los puentes de Villeneuve sur Lot., de 96,25 m. de luz (tomo III, pág. 255), de Saint-Pierre de Vauvray y del puente articulado Candelier, estos últimos descritos más adelante.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

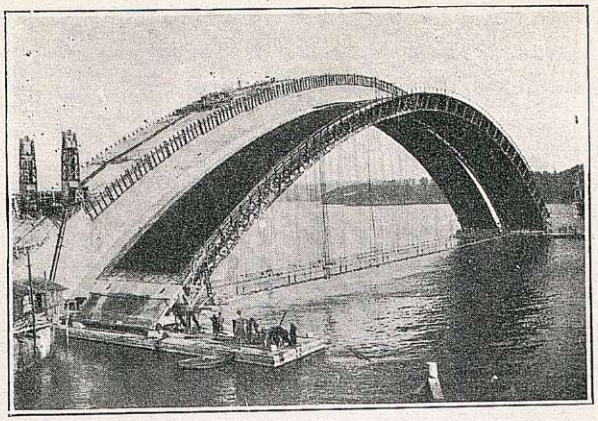


Fig. 146.—Cimbra del puente de Plougastel,

4.º Además de sus dimensiones extraordinarias, en este puente ha resuelto el ingeniero M. Freyssinet con su genial originalidad, muy interesantes problemas de construcción, que merecen conocerse, pues que ejecutó sus tres arcos con una sola cimbra, transportada por flotación de uno a otro de los arcos (fig. 146).

Su coste ha sido de 22 millones de francos, equivalentes a 7 millones de pesetas, o sean 9.000 pesetas por metro lineal, que en España serían unas 13.000 pesetas, por el mayor precio del cemento, hierro y maquinaria (1).

Puente de Lisboa, sobre el Tajo (Portugal).—Aunque no se ha construído aún, merece citarse este proyecto, debido a nuestro compañero el profesor D. Alfonso Peña Boeuf, que, de realizarse, alcanzaría el *record* de *luces* de todos los puentes de H. A. y el de mayor longitud del mundo (figs. 147 y 148).

Consiste en diez tramos con arcos de 200 m. de luz, sobre pilas cimentadas a grandes profundidades, por un procedimiento también original (2) y un viaducto de acceso de 1115 m. de longitud, con tramos en arcada de 15 m. sobre palizadas.

---

(1) Detalles en *Genie Civil* de 4 de octubre de 1930.—*Revista de Obras Públicas* de 15 de noviembre de 1930 y un artículo del autor en la revista *Ferrocarriles y Tranvías,* núm. 1, febrero de 1931.

(2) Descrito en nuestro tomo II, pág. 249, y en *Genie Civil,* tomo 81, núm. 1.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Para suprimir las cimbras, se han proyectado los arcos *con armaduras rígidas,* que se montarán al aire por medio de transbordadores aéreos.

Las cerchas son dobles en cada uno de los cuatro arcos y están

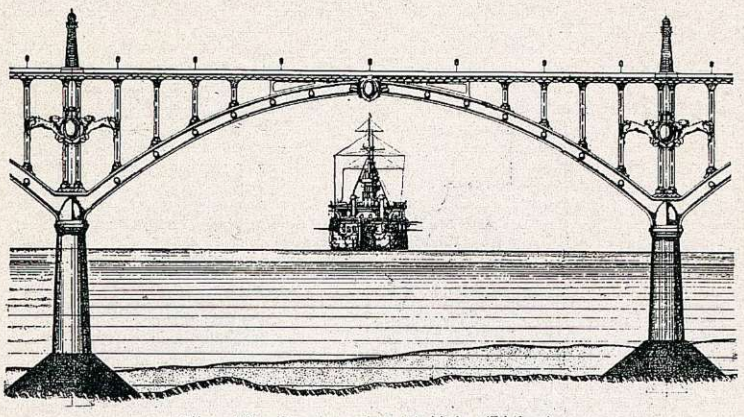


Fig. 147.—Puente sobre el Tajo (Lisboa).

formadas por cuatro angulares y platabandas enlazadas por celosía de angulares formando cuadros de 4 m. (1).

El ancho del puente será de 24 metros para sobrecargas, correspondientes a doble vía de ferrocarril normal, doble vía de carretera y dos aceras laterales.

La rasante está proyectada a 45 m. sobre la P. M. E., que permite el paso de los mayores barcos.

Su presupuesto, incluyendo el viaducto de accesos es de 50 millones de pesetas.

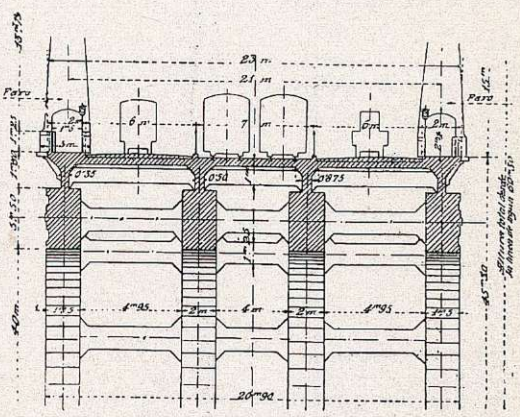


Fig. 148.—Puente de Lisboa.

(1) Detalles en *Madrid Científico* de 1.° de diciembre de 1921.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

§ V.—GRANDES ARCOS SUPERIORES, EN EL EXTRANJERO

Puente de Chippis, sobre el Ródano (Suiza).—Se construyó para un ramal de ferrocarril de vía ancha, con un arco de 60,44 m. de luz (figs. 149 y 149 bis).

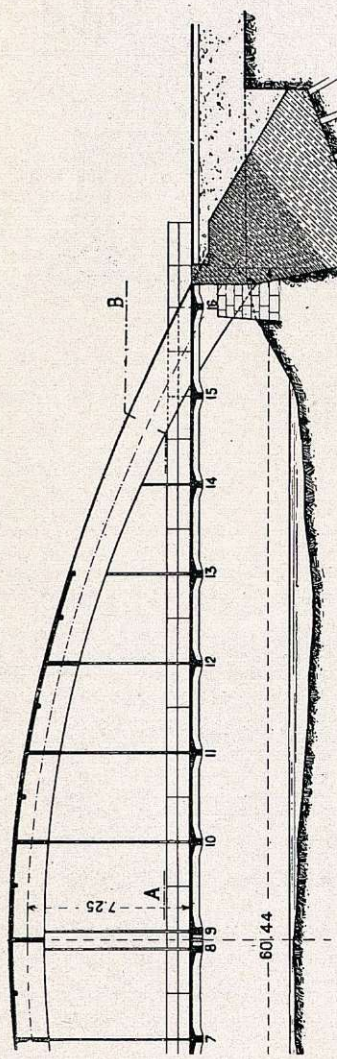


Fig. 149.—Puente sobr el Ródano, en Chippis (Suiza).

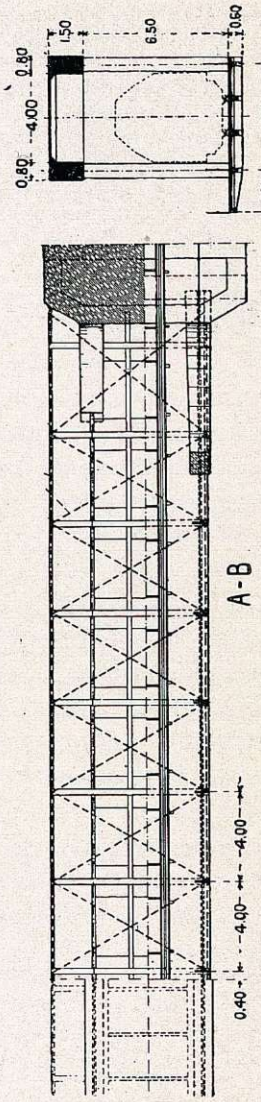


Fig. 149 bis.—Sección por A - B de la fig. 149.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Los dos arcos, a estribos perdidos, se arriostran en su parte inferior por el tablero de H. A., que está colgado de los arcos y tiene una junta de dilatación en su centro.

También en este puente podía haberse reducido a la mitad la luz de su arco único, con una pequeña pila en el centro del río.

Puente de Conflans, sobre el Oise, próximo a París (1).—Terminado en 1929 para substituir a un antiguo puente colgado (figuras 150 y 151).

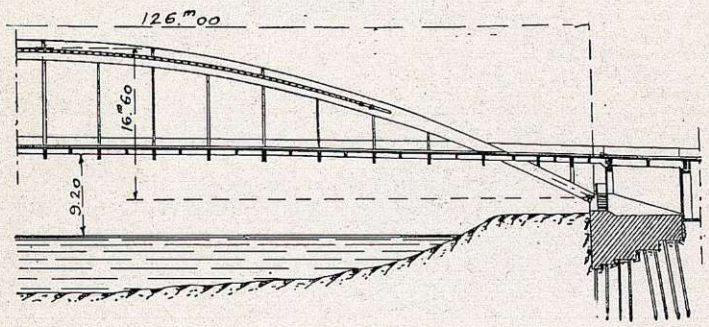


Fig. 150.—Puente de Conflans.

Aunque del tipo y dimensiones del puente de Saint-Pierre de Vauvray, que describiremos a continuación, difiere de éste en que en el de Conflans los arcos se van adelgazando desde la clave (2,10 m.) hasta los arranques (1,26 m.). El ancho en estos arcos es constante (1,20 m.), salvo en los arranques en que se ensancha a 1,80 m.

Las péndolas a 6,00 m. de distancia son octógonos de 0,20 m. de grueso.

El arriostramiento superior es un techo calado, suspendido de tres arquillos que se empotran en los dos

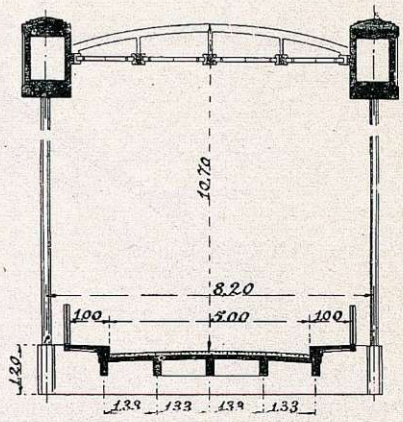


Fig. 151.—Puente de Conflans.

(1) Proyecto y ejecución de la Casa Boussiron, mediante concurso. Detalles en *Genie Civil* de 1.° de febrero de 1930.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

arcos principales. El autor hubiera preferido tres arcos de 40 m., que hubieran podido ser inferiores, cuyas cimbras, moldes y mano de obra resultarían mucho más económicos.

Puente de Saint-Pierre de Vauvray, sobre el Sena (Francia) (1).—Proyecto y construcción del ingeniero M. E. Freyssi-

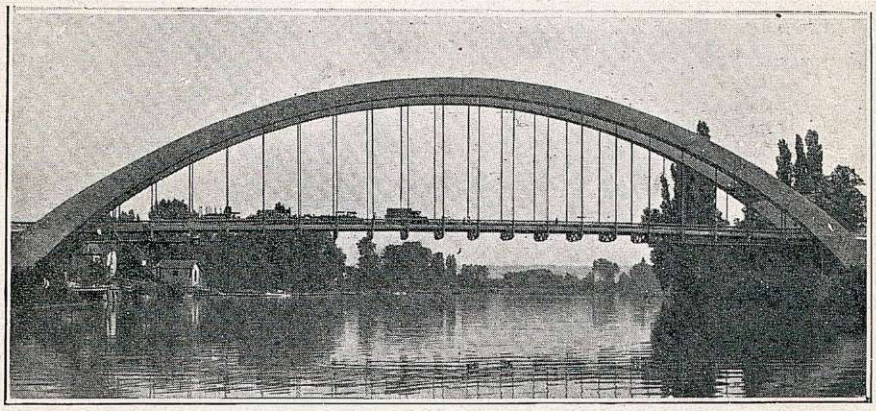


Fig. 152.—Puente de Saint-Pierre de Vauvray (Francia).

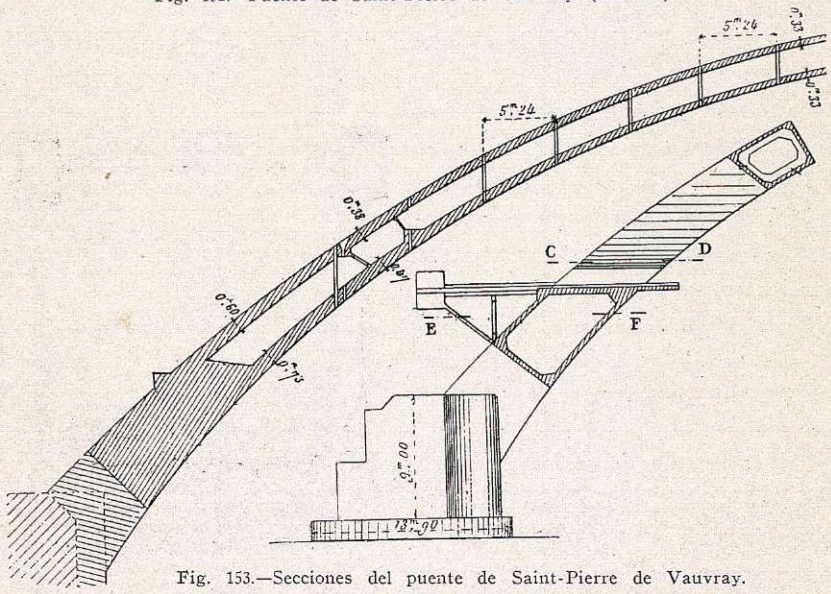


Fig. 153.—Secciones del puente de Saint-Pierre de Vauvray.

(1) Detalles en la *Revista de Obras Públicas* de 15 de octubre de 1923.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

net, autor del puente de Plougastel. El puente que nos ocupa ahora, construído en 1923, ofrece las características siguientes (figs. 152 y 153):

Luz libre entre estribos: 131,80 m.; flecha: 25 m.

Ancho de la plataforma: 8,80 m., de los que una calzada de 5,35 y 2 andenes de 1,34 m.

Sección de los tirantes de suspensión que aguantan el tablero: 40 barras de 10 mm.

Es el primer puente que se ha ejecutado con arcos huecos de paredes delgadas.

§ VI.—CONCLUSIONES

Pueden reducirse casi siempre las grandes luces.—El examen de los puentes anteriormente descritos evidencia la variedad dispositiva que pueda darse a los grandes arcos empotrados

Pero también puede observarse en muchos de ellos, que podían haberse substituído los grandes arcos únicos (fig. 154 - A) por dos o más tramos con arcos menores de 40 m.

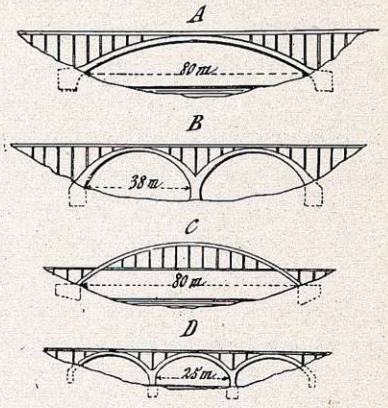


Fig. 154.

Así, por ejemplo, en la misma figura, la solución B obliga a una pila más, pero las dimensiones de los estribos se reducen por ser menor el rebajamiento de los arcos y, en cambio, éstos necesitarán menos hormigón y acero que el arco único y, sobre todo, cimbras y moldes más ligeros.

Más ventajosa aún sería la substitución del arco superior C de la figura 154, por los tres arcos inferiores del croquis D. El volumen total de cimientos de las dos pilas no será muy superior al que se ahorre en los estribos; pero, en cambio, es evidente que los materiales cimbras y moldes de los tres arcos inferiores serán mucho menores que los que exigiría el arco superior único.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Inconvenientes de los arcos superiores.—Por lo demás, estos arcos superiores e intermedios, aunque en apariencia ligeros y económicos de material, ofrecerán siempre serios inconvenientes:

a) El grave peligro de sus cimbras *de gran altura,* expuestas al viento y a las crecidas.

b) El gasto considerable de cimbras y moldes *que tiene que amortizarse en un solo arco.*

c) El elevado coste de la mano de obra, para arcos huecos, *a gran altura sobre la rasante.*

Para el autor no es dudoso que los tres notables ejemplos que hemos presentado pudieran haberse realizado con arcos inferiores de tipo corriente más económicos, teniendo en cuenta la reducción de coste de los precios de cimientos cuando se aumenta el número de apoyos.

Evolución constructiva de los arcos.—Es incuestionable, sin embargo, que en barrancos muy profundos o en ríos de gran nivel de agua con lechos de escasa consistencia y muy socavables, que exijan pilas de exagerada altura o cimientos caros, podrán imponerse arcos de más de 100 metros.

También es cierto que aplicando los nuevos procedimientos constructivos de Freyssinet y los supercementos y aceros especiales, que consienten trabajos de cien y más kilogramos al hormigón y de 15 a 20 kg. al acero, podrán alcanzarse grandes luces, con volúmenes de material relativamente reducidos.

Pero, a pesar de esta notoria evolución constructiva, que abre nuevos campos a los grandes arcos de hormigón armado, no es menos cierto que este material tendrá siempre en contra suya los peligros y los gastos de sus cimbras y moldes, que crecen en progresión geométrica de las luces y alturas de arcos y rasantes.

No despreciemos los puentes metálicos.—No olvidemos, por último, que los cables y quizá en breve el empleo de aceros especiales permitirán soluciones más atrevidas que el *cantilever* de 643 metros de Quebec y el tramo de 1.066 m. que acaba de terminarse en Nueva York.

Es probable que los progresos del cálculo, de la fabricación de aceros y de los medios de montaje consientan soluciones

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

nuevas, y que así como el hierro, primero, y el hormigón, después, revolucionaron sucesivamente el mundo constructivo, vuelvan los nuevos aceros a producir una reacción en favor de los puentes metálicos, en combinación quizá con cementos especiales que los defiendan y vigoricen.

De todos modos, y como indicamos en el capítulo I del tomo III, el ingeniero, antes de decidirse por los grandes arcos de H. A., deberá comparar su coste con los de fábrica ordinaria y hasta con las soluciones metálicas que más se acomoden a las circunstancias de la obra en proyecto, pues el acero se defenderá contra la ofensiva victoriosa del hormigón armado, como se defienden el gas y el vapor contra la creciente absorción de la electricidad.

En España, sin embargo, por efecto de la protección arancelaria exorbitante de que disfrutan los aceros, con relación a la que tiene el cemento, serán cada día más excepcionales los puentes metálicos, por resultar casi siempre más caros de construcción, sobre todo si se le agrega, como es justo, el gasto capitalizado de su conservación constante, que no recargan a los puentes de fábrica o de hormigón armado.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

CAPÍTULO V

ARCOS ARTICULADOS

§ **I.—Consideraciones generales.**

Tipos de articulación en bóvedas de fábrica.—Sus modificaciones en arcos de hormigón armado.—Tipo Mesnager.—Tipo Freyssinet.—Tipo Emperger.—Tipo Sánchez del Río.—Número de articulaciones.—Disposiciones de arcos y armaduras.

§ **II.—Ejemplos de arcos articulados españoles.**

Sobre el río Isuela (Huesca).—En San Juan de las Abadesas (Gerona).—En Besalú (Gerona).—En Requejo (Asturias).—Pasarela de Gerona.—En Mequinenza (Zaragoza).—En Gelsa (Zaragoza).

§ **III.—Ejemplos de arcos articulados del extranjero.**

En Pinzano (Italia).—En Sequals (Italia).—Sobre el Valdassa (Italia).—En Gmunden (Austria).—Sobre el canal Donau, en Viena.—En Montauban (Francia).—Puente Candelier (Bélgica).—En Port d'Agrés (Francia).—En Echelsbach (Baviera).

§ **IV.—Conclusiones.**

§ I.—CONSIDERACIONES GENERALES

Tipos de articulación en bóvedas de fábrica.—En el capítulo XIV del tomo III justificamos las ventajas de la triple articulación de las bóvedas y enumeramos los tipos de articulación, que se resumen en:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

a) Con hojas de plomo intercaladas en la parte central de la bóveda, en sus dos arranques y en la clave.

b) Por rodadura, cortando la bóveda en claves y arranques, con juntas cuyos paramentos en contacto sean cóncavos y convexos, para que puedan rodar uno sobre otro. Los bloques de juntas pueden ser: de piedra dura, de acero, de hormigón armado o sin armar.

c) Por giro.—Las dos semibóvedas giran alrededor de un eje de hierro fundido o de acero.

d) Por giro y rodadura.—Es la articulación de *rodilla,* en la que la rótula convexa gira y rueda dentro del bloque cóncavo.

e) Con semiarticulación, es decir, articulando temporalmente las bóvedas durante la construcción, y enclavando después las rótulas, para transformar la bóveda en inarticulada, a los efectos de las sobrecargas móviles.

Sus modificaciones en arcos de H. A.—Todos estos tipos de articulación pueden aplicarse a los arcos de H A.: pero conviene entonces reforzar las armaduras en las inmediaciones de las rótulas, como se observa en los ejemplos siguientes:

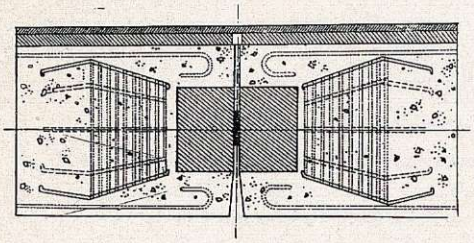


Fig. 155.

Fig. 155. Articulación de plomo del puente sobre el Aar, en Olten (Suiza). Se intercala la chapa de plomo entre dos sillares de piedra escogida, sobre los que se concentran las presiones del arco con armaduras suplementarias.

Fig. 156. Articulaciones en arranque y clave del puente de Belluno, sobre el Piave (Italia), para un arco inferior de 71,60 m. rebajado al 1/10. Las rótulas son de acero y los cojinetes de fundición, ambos en cinco piezas de 1 m. de longitud, que se extienden en todo el ancho de 5,05 m. de la bóveda (1).

(1) Detalles en el libro *Ponti in cemento armato,* de Santarella. Láminas 38 y 39.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tipo Mesnager (1).—Este ilustre profesor ha preconizado para los arcos de H. A. la disposición de la figura 157, aplicada en algunos puentes franceses y los de San Juan de las Abadesas y Besalú, en España, que luego describiremos.

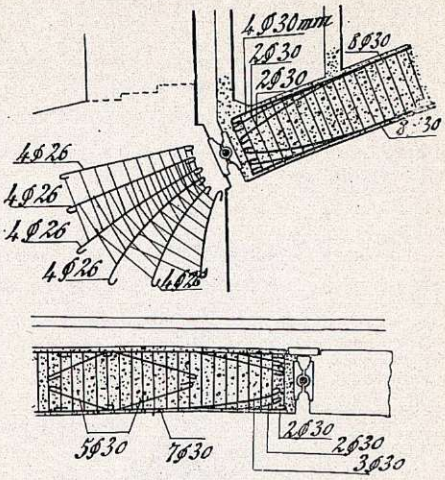


Fig. 156.—Articulaciones del puente de Belluno (Italia).

Consiste en concentrar en los centros de los arranques y de la clave las barras que en los arcos se sitúan en su intradós y trasdós; son, pues, las propias armaduras las que constituyen las rótulas, y se suprime así el gasto de las articulaciones y el de su colocación.

Se envuelven y defienden estas articulaciones, o en un pequeño rectángulo de mortero rico, o con filástica embreada o mastic asfáltico. Pero dados los diámetros de las barras, deben considerarse como *semiarticulaciones,* y asimismo las define su autor Mr. Mesnager en su citado libro (pág. 176).

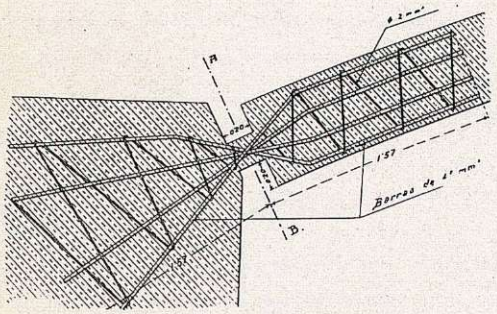


Fig. 157.—Articulación Mesnager.

La disposición es original, habilidosa y satisfactoria, mecánica y constructiva, por lo que se ha aplicado en un gran número de puentes, de los que describiremos luego los más característicos, sin que hasta ahora se hayan observado inconvenientes. Debe, sin embargo, indicarse que en estas articulaciones, donde por la propia movilidad que permiten a los ar-

(1) Mr. Mesnager es un ingeniero y un sabio profesor muy reputado por sus experiencias de laboratorio y notoriamente por su *Cours de beton armé,* redactado para sus discípulos de la Escuela de Puentes y Calzadas, de París.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cos se producirán forzosamente grietas en el mortero o mastics elásticos con que se recubran las barras, penetrará la humedad y las oxidará en mayor o menor grado de profundidad y extensión, *sin que haya medios de corregirlo ni de sustituirlas.*

Es, pues, inevitable que los arcos así articulados morirán repentinamente por sus rótulas el día en que la sección de las barras haya menguado lo suficiente para que no resista la presión en ellas concentrada (1).

Tipo Freyssinet (fig. 158).—Imaginada por este ilustre ingeniero constructor para el puente de Veurdre (en Vichy) y aplicada en el puente Candelier, que luego describiremos, y por nuestro compañero Sr. Gamón en los puentes de Mequinenza y Gelsa.

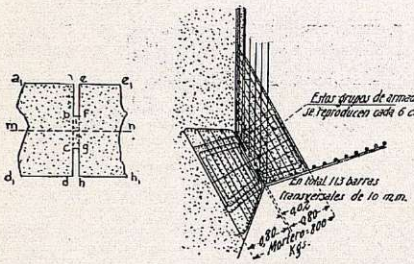


Fig. 158.—Articulaciones Freyssinet.

La transmisión de las presiones se realiza por una pequeña zona de mortero rico de cemento *b f c g* (figura 158), comprendida entre dos salmeres $a_1\ add_1$-$e_1\ ehh_1$, ejecutados con mortero de 800 kilogramos y con nutrida armadura transversal, dispuestas como se ve en su aplicación en el puente Candelier, descrito más adelante.

Los experimentos previos realizados por Freyssinet y comprobados después por el mismo en varios puentes, demuestran que no se presentan grietas en ninguno de los ángulos *b, f, c, g;* es decir, que esta zona, que actúa como rótula, parece comportarse como si fuera una masa líquida contenida en una envolvente inextensible; se puede fácilmente obtener con estos morteros presiones de rotura excediendo 1.000 kg/cm².

Es, por lo tanto, esta articulación fundamentalmente distinta del tipo Mesnager; en ésta la transmisión de las presiones se realiza

(1) No debemos ocultar, sin embargo, que nuestro compañero D. Federico Moreno, que ha aplicado las articulaciones Mesnager en sus puentes de San Juan de las Abadesas (construído en 1914) y Besalú, que luego describiremos, no ha observado en ellos la menor señal de oxidación. Verdad es que no son muchos años los que llevan de existencia.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

exclusivamente por las armaduras longitudinales; en la rótula Freyssinet, es únicamente el hormigón el que transmite las presiones (1).

Tipo Emperger.—Este reputado ingeniero, aplicando sus preferencias por el hierro fundido, emplea este material para las armaduras de los arcos, que vienen a apoyarse directamente sobre las rótulas de acero fundido (fig. 159).

Pero, a pesar de la justificada autoridad de su autor, este tipo de articulación no se ha extendido (2).

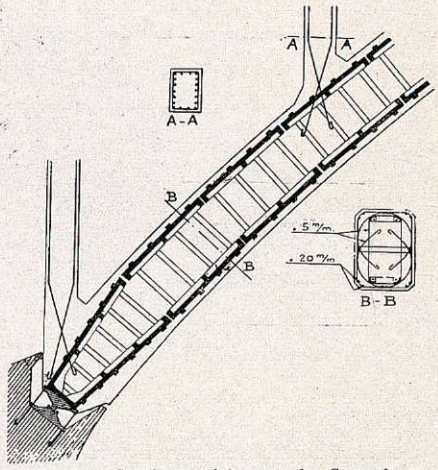


Fig. 159.—Secciones del arco de Gmunden (Austria).

Tipo Sánchez del Río.—Este aventajado discípulo nuestro ha imaginado y propuesto para un puente sobre el Nalón, en las Caldas (Oviedo), de 80 m. de luz, unas articulaciones de *uralita,* que, como es sabido, es una mezcla de cemento y amianto que resiste presiones superiores a 1.000 kg/cm² (fig. 160).

En la solución 1, la articulación se realiza mediante la interposición de un tubo de uralita de 50 cm. de diámetro exterior, con paredes de 20 cm. entre dos segmentos de tubo, de algo mayor curvatura y de 20 cm. de espesor.

La solución 2 es más sencilla: consiste en dos medios tubos, con los que se obtiene la figura del dibujo.

En ambas, la uralita trabaja a compresión del modo más favorable, *por presiones radiales,* es decir, comprimiendo las capas elementales y concéntricas que integran el tubo, del mismo modo que cuando su fabricación.

(1) Deben leerse muy interesantes justificaciones de este sistema en la nota de M. Freyssinet sobre el puente Candelier *Annales des Ponts et Chaussées.* Marzo-abril, 1923, pág. 170.

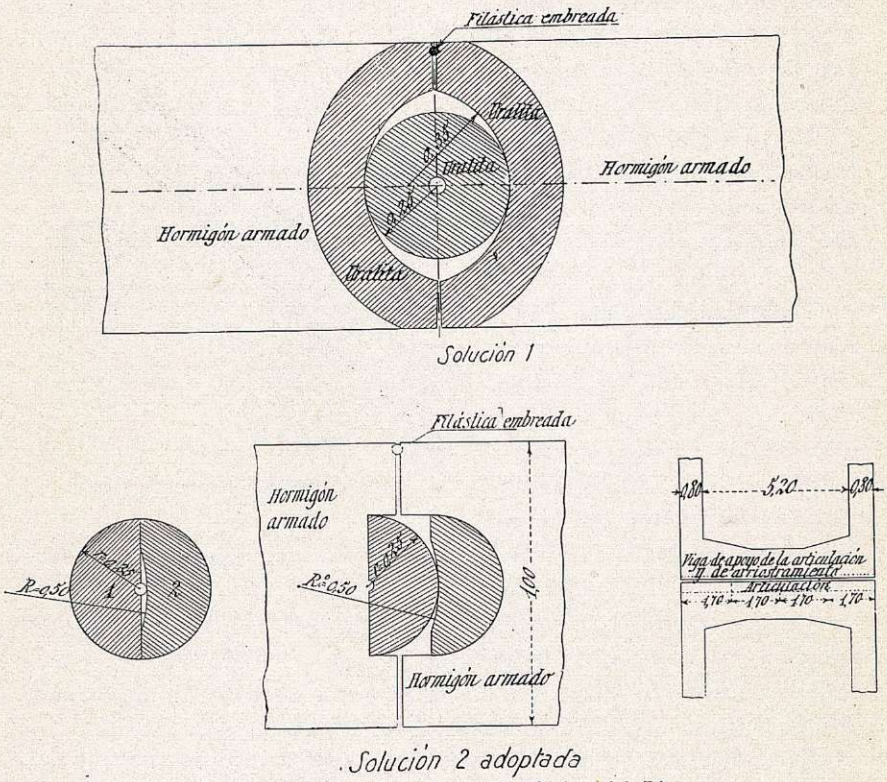
(2) En este mismo capítulo describiremos los puentes de Gmunden (construído) y canal Donau (proyecto) con el tipo Emperger de articulación.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Se obtendrán con este tipo de articulación las siguientes ventajas:

a) Que su material, a base de cemento, es de la misma calidad que el resto del puente.

b) Suprime la oxidación de las rótulas metálicas, admitiendo como éstas un perfecto e inalterable pulimento.



Fig, 160,—Tipo de articulación Sánchez del Río,

c) Una notable y comprobada flexibilidad, muy superior a la del hormigón.

d) Ser más económicos y más fácilmente colocables que los demás tipos.

No dudamos que la experiencia compruebe estas tan razonadas ventajas (1).

(1) Detallados en nuestro artículo de la *Revista de Obras Públicas*. Año 1931. 1.° de enero. (Pág. 2.)

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Número de articulaciones.—La mayor parte de los ingenieros partidarios de la articulación han dado la preferencia a la triple rótula, en arranques y clave, en las bóvedas de hormigón o arcos de H. A., solución que evita toda indeterminación estática.

Sin embargo, en puentes metálicos y grandes cubiertas ha sido frecuente articular sólo los dos arranques: Eiffel en sus puentes de Oporto y Garabit, el autor en su viaducto de Pino, así lo han hecho y justificado (1), y también nuestro compañero Moreno en sus dos puentes articulados de H. A. de San Juan de las Abadesas y Besalú, que luego describiremos.

Por último, el ilustre profesor belga Vierendeel (2) preconiza el tipo de arco empotrado en los arranques y *solamente articulado en la clave,* y nuestro joven compañero Sánchez del Río aplicó esta articulación única en su puente de Requejo, descrito más adelante por los plausibles motivos que se detallan en el artículo que a dicho puente dedicó el autor (*Revista de Obras Públicas,* 1.º de enero de 1931).

Después de examinar los muchos ejemplos que se presentan a continuación, expondremos las conclusiones que pueden deducirse de su estudio y experiencia.

Disposiciones de arcos y armaduras.—Todos los arcos articulados, como sus tímpanos y tableros, se arman de igual modo que los arcos empotrados.

Pueden, por lo tanto, emplearse armaduras flexibles, que exigen fuertes cimbras, o cerchas rígidas en celosía, que pueden montarse sobre ligeros andamios o en voladizo.

Pero hay que cuidar muy especialmente las juntas de dilatación de los tímpanos y tableros en el plomo de las rótulas de arranque, pues en aquéllas serán más sensibles los movimientos del arco, no sólo por los efectos de temperatura sobre el puente, sino por los

(1) En nuestro libro *Grandes viaductos,* pág. 172.

(2) *A. Vierendeel. "Cours de stabilité des constructions",* tomo IV, página 107. Dice textualmente: "Lo consideramos como el mejor y más económico; es un poco inferior al arco de tres rótulas para los efectos de la temperatura; pero compensa ampliamente esta inferioridad por su mayor resistencia a las cargas verticales y a los esfuerzos horizontales."

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

movimientos de los apoyos, *sometidos en toda su absoluta integridad* a los empujes oblicuos de los arcos.

Pasemos a describir los arcos articulados más característicos.

§ II.—EJEMPLOS DE ARCOS ARTICULADOS ESPAÑOLES

Puente sobre el río Iruela (Huesca) (1).—Es el primer puente español de hormigón armado en el que se emplearon articulaciones (fig. 161).

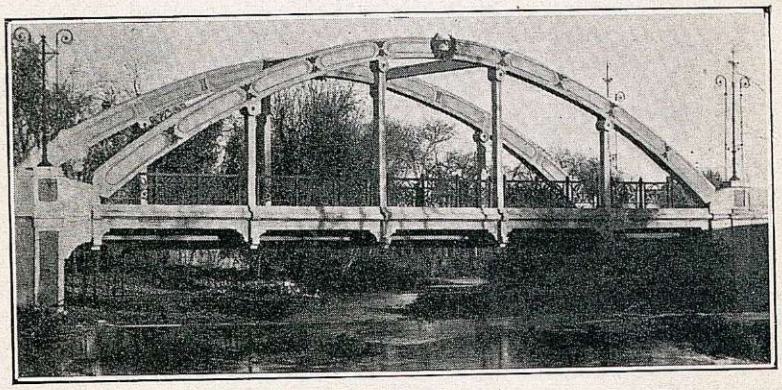


Fig. 161.—Puente sobre el Iruela (Huesca).

Tiene este arco parabólico 25,60 m. de luz entre rótulas de arranques y 5,10 m. de flecha.

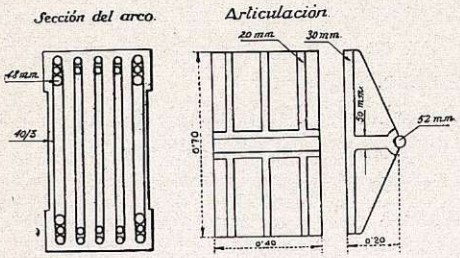


Fig. 162

Los arcos dejan un ancho libre de 7,00 m., de los que 4,90 m. para firme y 2 andenes de 1,05 m.

Las tres articulaciones de cada arco, que son del tipo de placas de fundición y rótula de acero (fig. 162), están condenadas con mor-

(1) Para la carretera de Huesca a la estación del ferrocarril de Sabiñánigo. Autor del proyecto y constructor: nuestro compañero D. Gabriel Rebollo, que fué con el autor uno de los primeros preconizadores del H. A.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tero de cemento; no se han observado movimientos oscilatorios, ni señales de oxidación, desde el año 1912 en que fué construído.

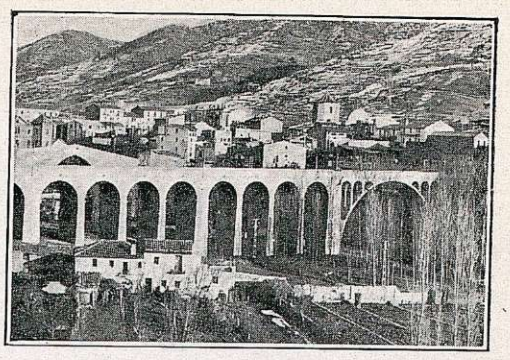


Fig. 163.—Puente de San Juan de las Abadesas (Gerona).

Puente viaducto de San Juan de las Abadesas (Gerona) (1).—Con un viaducto de acceso de 12 arcos de medio punto de 7 m., la carretera de Ripoll a Francia cruza el río Ter, por medio de un arco de 32 m. de luz entre estribos; se reduce esta luz a 28 m. entre las únicas dos articulaciones, tipo Mesnager, que se han

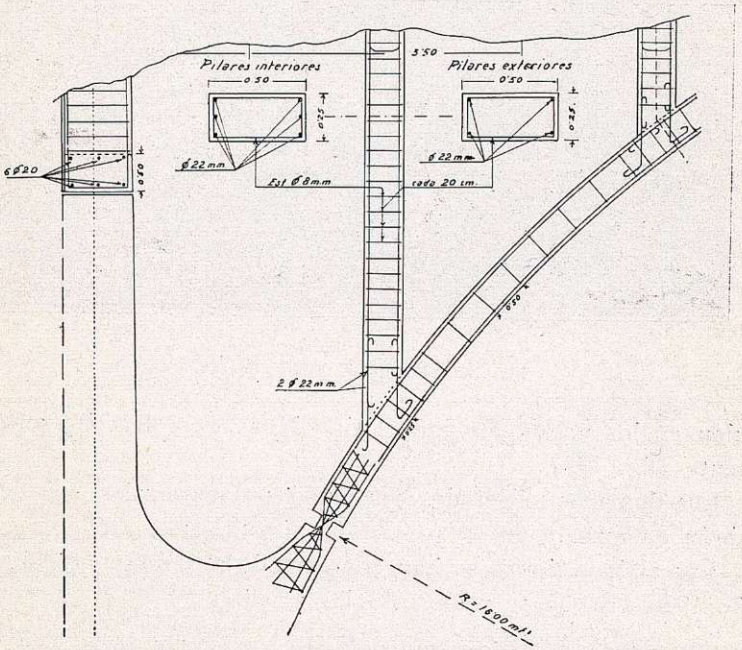


Fig. 164.—Puente de San Juan de las Abadesas.

(1) Ingeniero autor del proyecto y director de las obras: D. Federico Moreno. Constructor: "Sociedad Construcciones y Pavimentos". Pueden leerse detalles de este puente en la *Revista de Obras Públicas* de 1924, pág. 202.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

dispuesto en voladizo de 1 m. sobre cada paramento de estribo (figuras 163 y 164).

La bóveda es continua, con espesor uniforme de 0,45 m., que se reduce a 0,15 m. en la articulación; en ella se empotran los pilares de 0,50 por 0,25, que sirven de apoyo a las arcadas de los tímpanos.

En los dieciséis años de servicio de este puente, no se observan señales de grietas ni de oxidaciones en las rótulas.

Puente de Besalú, sobre el río Fluviá (Gerona) (1).—Para la carretera de segundo orden de Gerona a Olot.

Tres arcos escarzanos de 37 m. de luz y 5,90 m. de flecha (figura 165).

Las bóvedas son continuas en un ancho de 4,74 m. y se arti-

Fig. 165.—Puente de Besalú (Gerona).

culan en los arranques con el tipo Mesnager, descrito anteriormente (fig. 157).

Los tímpanos, aligerados con arcadas transversales, son de hormigón en masa.

Las articulaciones se han comportado perfectamente desde el año 1926, en que se realizaron las pruebas.

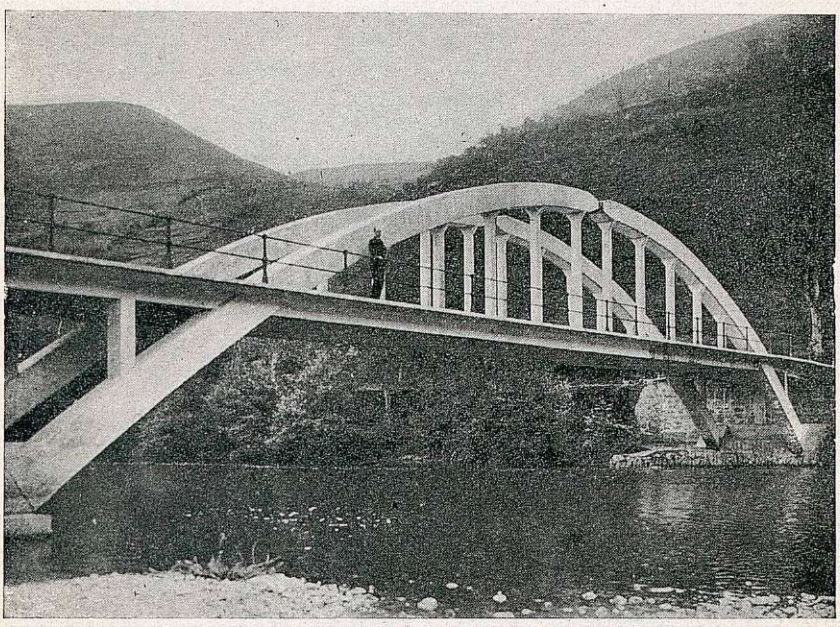
---

(1) Proyecto y dirección de las obras: D. Federico Moreno, que siguió empleando en este puente la doble articulación Mesnager, por el buen resultado que con ella había obtenido en el arco de San Juan de las Abadesas, anteriormente descrito.

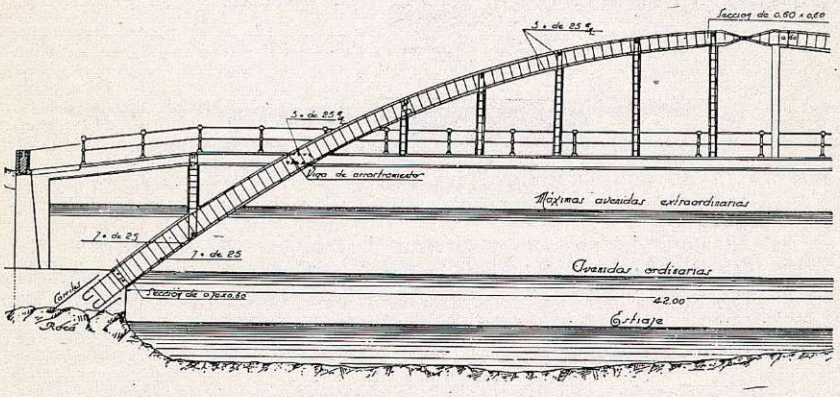
FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Para los efectos de las dilataciones se han separado los tímpanos de los estribos, para que los arcos y tableros tengan libre juego.

Puente sobre el Narcea, en Requejo (Asturias).—Sus características son (figs. 166 a 168):

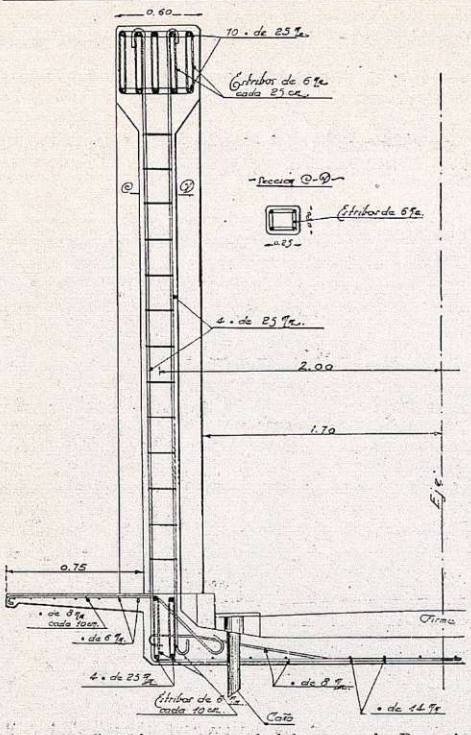


Fig, 166,—Puente de Requejo (Asturias),



Fig, 166,—Sección longitudinal del puente de Requejo,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO



Fig, 167,-Sección transversal del puente de Requejo,

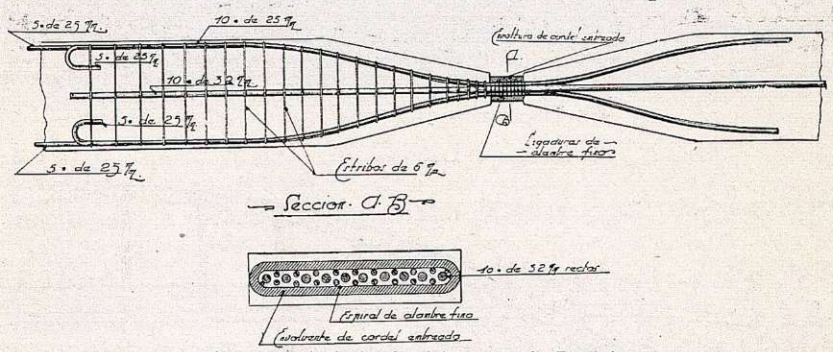
1.º Que los dos arcos de 42 m. de luz entre apoyos con tablero intermedio, tienen *articulación única en la clave,* cuya solución justifica el autor en su proyecto (1).

2.º Que no se han dispuesto arriostramientos superiores de los dos arcos, por bastar la sujeción que les da el tablero que atraviesan (figura 167).

Las articulaciones son del tipo Mesnager (fig. 168).

Pasarela de Gerona (2). Arco parabólico de 48,50 metros de luz y 3,50 m. de flecha (figs. 169 y 170).

Espesor: en la clave, 0,26 m.; en arranques, 0,31 m.



Fig, 168,—Articulación del puente de Requejo,

(1) El autor del proyecto y director de las obras ha sido nuestro muy aventajado discípulo D. Ildefonso Sánchez del Río. En un artículo que publicó el autor de este libro en la *Revista de Obras Públicas* de 1.º de enero de 1931, detallamos la justificación de la articulación única, así como otros detalles de tan interesante obra.

(2) Proyectada y construída por la Sociedad "Construcciones y Pavimentos".

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Carga de cálculo: 400 kg./cm².

Dos articulaciones tipo Mesnager en estribos, porque uno de

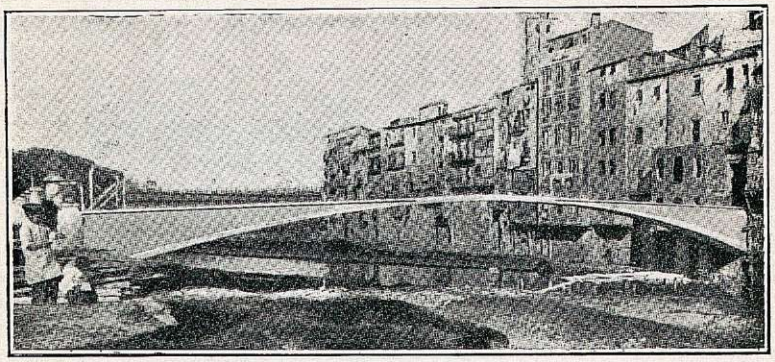


Fig. 169.—Pasarela en Gerona.

éstos ofrecía poca seguridad, evidenciada por sus desplazamientos sucesivos, que alcanzaron 6 cm. A pesar de ello, *y gracias a sus articulaciones,* la obra se mantiene en perfecto estado.

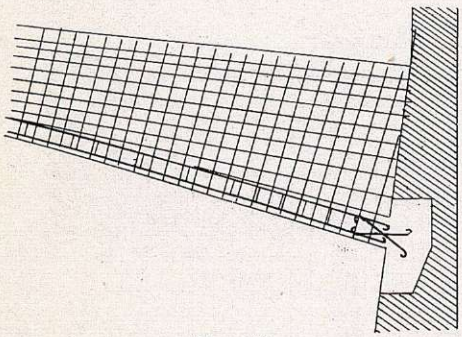


Fig. 170.

No cabe mayor ligereza de bóveda, que hubiera sido aun más visible si se hubieran aligerado transversalmente los tímpanos, en vez de aligerarlos longitudinalmente.

Puente de Mequinenza, sobre el Ebro (Zaragoza) (1).—Cuatro arcos parabólicos con tres articulaciones de 62,50 m. de luz entre apoyos y de 60 m. entre las articulaciones de arranques,

(1) Carretera de Maella a Fraga. Proyecto de D. Alejandro Mendizábal, reformado por D. Joaquín Camón, que inspeccionó las obras. Estas fueron ejecutadas por la "Sociedad Aragonesa del Cemento Armado Ramón Ríos y Compañía, Hermanos". Detalles de estas obras, en *Ingeniería y Construcción* de mayo de 1926.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

porque éstas vuelan 1,25 m. sobre los paramentos de apoyos.

Su flecha es de 8,57 m., que produce un rebajamiento aproximado de 1/7.

El tablero, de 6 m. entre barandillas, lleva forjado con cuatro

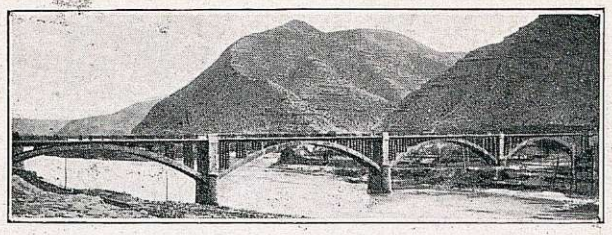


Fig. 171.—Puente de Mequinenza.

largueros, que se apoyan sobre palizadas de cuatro pilares, empotrados en la bóveda que es continua, pero de 4,80 m. de ancho (figura 171).

Los espesores de la bóveda son de 1,10, 1,40 y 1,00 m., respec-

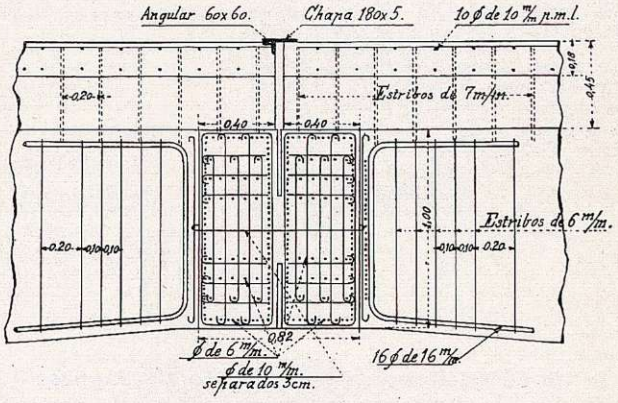


Fig. 17[illegible]

tivamente, en arranques, riñones y clave. Las armaduras de estos arcos son flexibles.

Las articulaciones, que se habían proyectado primeramente del tipo Mesnager, se modificaron por el ingeniero Sr. Camón con articulaciones Freyssinet (fig. 172).

El enlace entre las articulaciones y la bóveda se establece por

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

dos sillares de hormigón de 0,40 m. cada uno, armados en las tres direcciones con barras de 6 y 10 mm. y a 2 cm. de distancia.

La compresión máxima en la articulación de hormigón rico de 36 cm. de altura resulta en estos arcos de 136 kg./cm². siendo así que la resistencia de los hormigones de 800 kgs. con que se han ejecutado estas articulaciones ha sido de unos 500 kgs./cm². a los treinta y seis días.

Puente en Gelsa, sobre el Ebro (Zaragoza) (1).—Cinco arcos parabólicos con tres articulaciones de 52,80 m. de luz entre apoyos y de 48 m. entre las articulaciones de arranques, porque

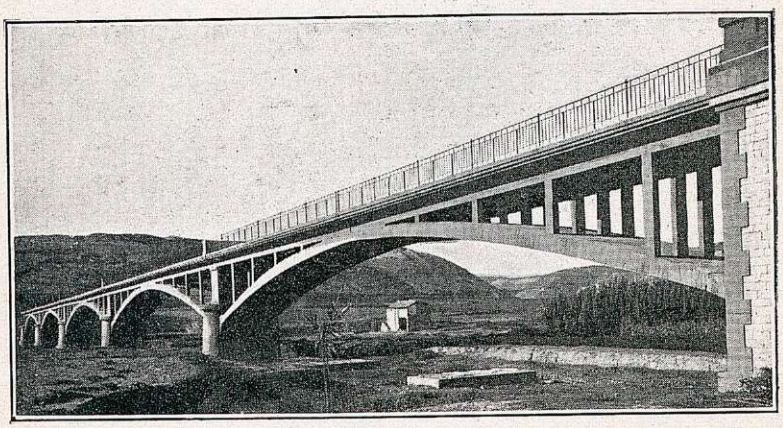


Fig. 173.—Puente de Gelsa.

éstas vuelan 1,40 m. sobre los paramentos de apoyos. La flecha es de 4,00 m., de modo que el rebajamiento es de 1/12 (figuras 173 y 174).

La composición del tablero es del mismo tipo que en el puente de Mequinenza.

(1) Carretera de Ventas de Santa Lucía a Quinto (Zaragoza). Proyecto de D. Joaquín Camón, que también inspeccionó las obras. Estas fueron ejecutadas por el ingeniero D. José Bonet. Detalles, en *Ingeniería y Contsrucción* de mayo de 1926. En dicho artículo se comprueba la gran economía de estas articulaciones sobre las rótulas ordinarias.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Los espesores de la bóveda son 0,52-0,76 y 0,46, en arranques, riñones y clave.

Las articulaciones, como en Mequinenza, son del tipo Freyssinet, sin más modificación que la que implica el distinto espesor de la bóveda. La compresión máxima en la articulación de hormigón de 18 cm. de altura, resulta en estos arcos de 147 kgs./cm².

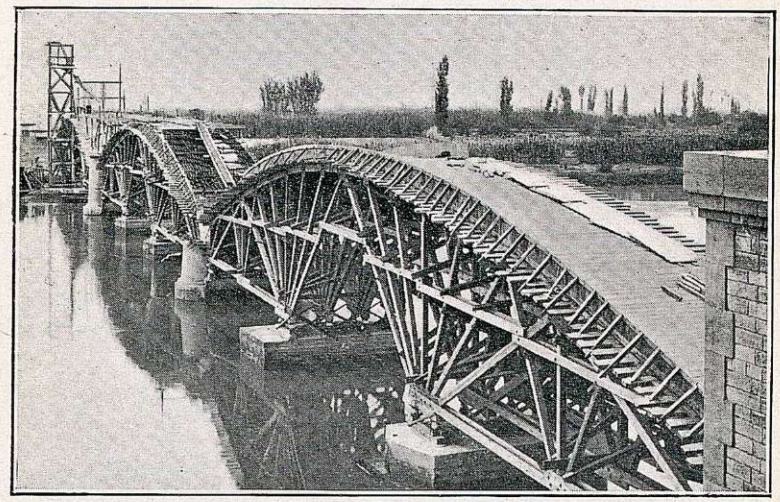


Fig. 174.—Puente de Gelsa.

Parecidas a las de la figura 172, cada articulación comprende dos bloques armados a 2 cm. de distancia con tres órdenes de armaduras: cercos rectangulares en dirección normal a las compresiones principales, armaduras horizontales que eviten el henchimiento de las zonas inmediatas a la junta de articulación y otras normales a la directriz para resistir los esfuerzos de flexión resultantes de la diferencia de espesores desde la articulación. Finalmente se colocan también armaduras según la fibra neutra, para impedir la separación accidental de las dos mitades de la articulación durante la ejecución de los arcos.

Como las armaduras en estos arcos eran flexibles, hubo que emplear cimbras (fig. 174); una de ellas fué destruída por una crecida cuando estaba a punto de terminarse el hormigonado del

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

arco, con la consiguiente pérdida para el contratista y con retraso de un año en terminar el puente.

Los dos puentes de Mequinenza y Gelsa que acabamos de describir honran a sus autores y constructores y justifican el empleo de los rótulas Freyssinet, que han resultado mucho más económicas que los demás tipos de articulación.

§ III.—EJEMPLOS DE ARCOS ARTICULADOS DEL EXTRANJERO

Puente de Pinzano, sobre el Tagliamento (Italia) (1).—Terminado en 1906 (fig. 175).

Consta de tres arcos de tres articulaciones de 49 m. de luz

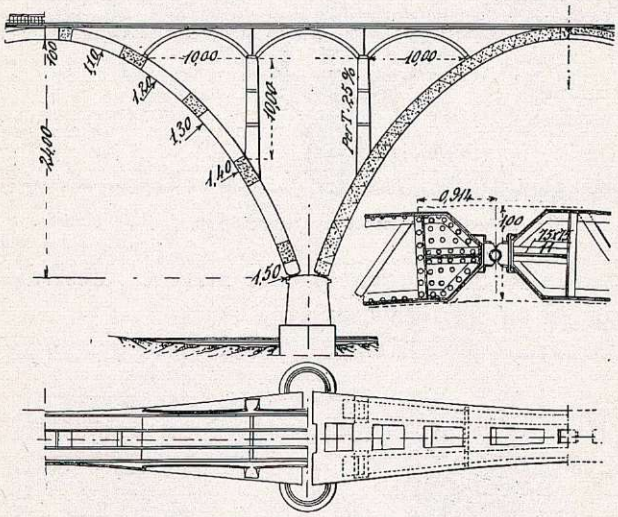


Fig. 175.—Puente de Pinzano.

y 24 m. de flecha; los arcos sostienen un viaducto de tres arcos de 10 m.

La directriz de los arcos es un carpanel de siete centros, que se aproxima a una parábola y a la funicular de las cargas completas.

(1) Detalles, en *Ponti in cemento armato,* de Santarella. Láminas 31, 32 y 33.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Los frentes de los dos arcos de cada tramo tienen una inclinación de 7,50 por 100 sobre la vertical, por lo que el ancho en la clave siendo de 5,25 m., resulta en los arranques de 9 m.

Las armaduras de los arcos son del *tipo rígido,* preconizado por el autor, y llevan en la clave y arranques tres articulaciones de acero (cuyo detalle en la clave se representa en la figura), análogas a las que para bóvedas de fábrica describimos en el tomo III, capítulo XIV.

Puente sobre el Meduna, en Sequals (Italia) (1).—Para la carretera de Spilimburgo a Maniago, utilizando los cimientos por

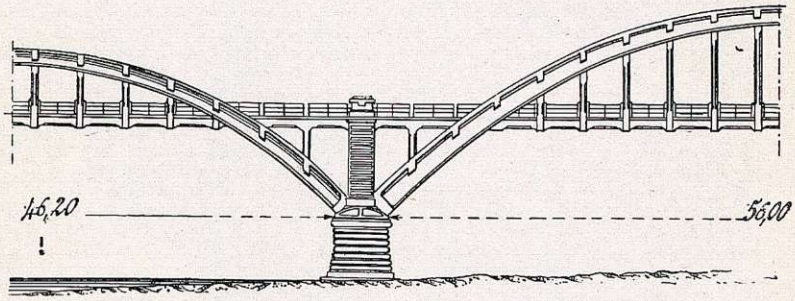


Fig. 176.—Puente sobre el Meduna, en Sequals (Italia).

aire comprimido del antiguo puente metálico, destruído por los austríacos en su retirada (fig. 176).

Los dos arcos de cada tramo, de 0,60 m. de grueso y 46 y 56 m.

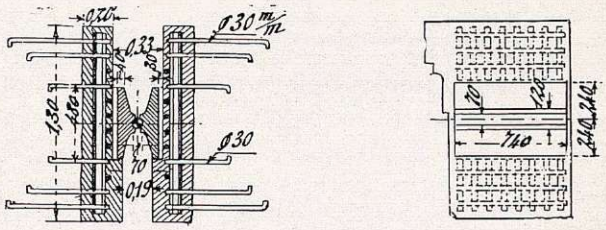


Fig. 177.

de luz, están a la distancia de 6,00 m. y llevan tres articulaciones, del tipo de giro detallado en la figura 177, que representa la articulación en la clave.

(1) Detalles, en *Ponti in cemento armato,* de Santarella. Láminas 36 y 37.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Puente viaducto sobre el Valdassa (Italia).—Construído en 1920 para el Ayuntamiento de Roana (Vicenza).

Puente carretero con tres arcos, el central de H. A., de 58,80 m. de luz y dos laterales de hormigón de 24,25 y 30,25 m. de luces, utilizando los apoyos de un puente de hierro destruído por necesidades militares en 1916 (fig. 178).

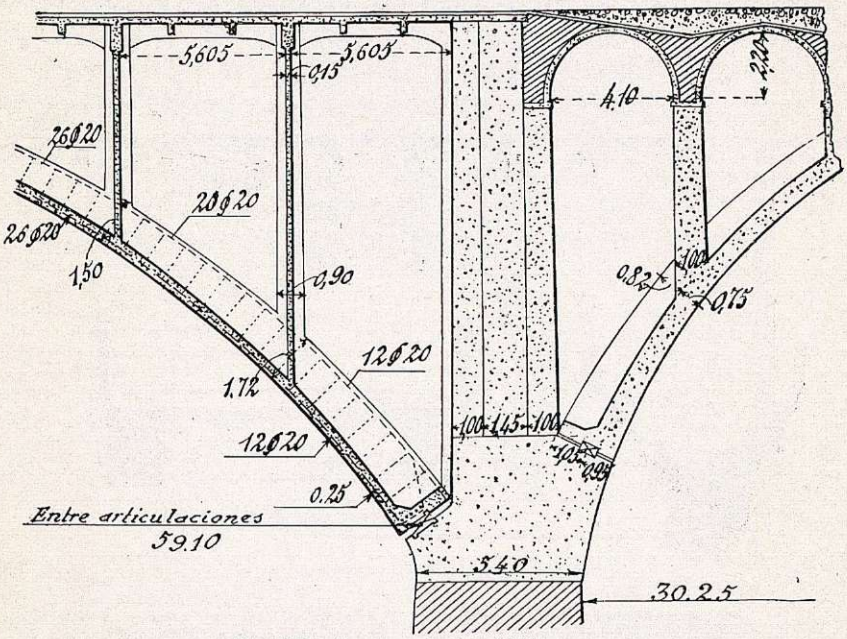


Fig. 178.—Puente sobre el Valdassa.

Ancho de la carretera entre barandillas: 6,00 m. (1).

Se calculó para una sobrecarga estática de 1.000 kgs./cm². y dinámica de un rodillo compresor de 23 toneladas.

Se adoptaron tres articulaciones para reducir los empujes y su variabilidad en las pilas estribos centrales, que convenía utilizar.

El tramo central está constituído por dos arcos de H. A., arriostrados *en su intradós* por un forjado de 0,25 m. de grueso.

Consisten las articulaciones en unos cojinetes de acero fundido de 0,70 y 0,60 m. de longitudes respectivas en los arranques y la clave, y colocados en los ejes y en la zona de intradós de

(1) Detalles, en *Ponti in cemento armato,* de Santarella. Láminas 34 y 35.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

los dos arcos armados. Entre cada dos cojinetes pueden girar unos ejes cilíndricos de acero de 12 y 9,5 cm. de diámetros respectivos en los arranques y clave.

Puente sistema Emperger, de fundición zunchada, en Gmunden (Austria).—Aunque el ilustre ingeniero von Emperger había proyectado este puente sin articulaciones, por estimarlas superfluas (1), la Administración las impuso, pero no aparecen a la

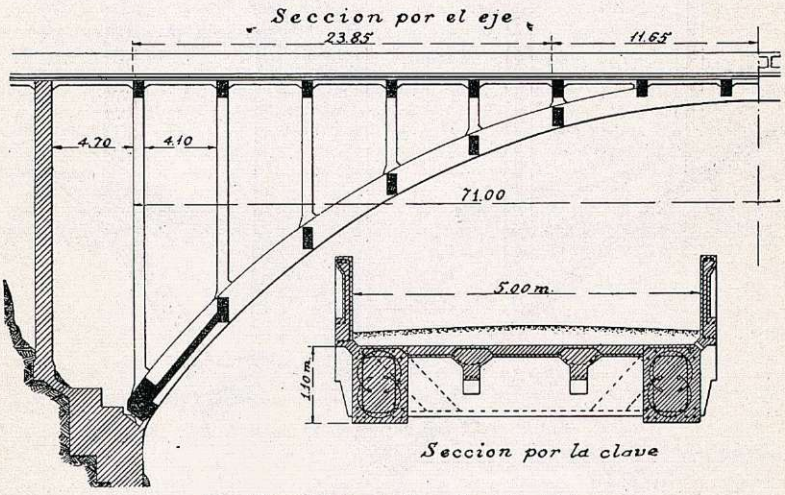


Fig. 179.—Puente de Gmunden (Austria)

vista, pues se han disimulado de tal forma (figs. 159 y 179) que se presentan los arcos como si estuvieran empotrados.

Las articulaciones son del tipo corriente de hierro fundido.

Lo más original de este puente consiste en el sistema de armaduras de fundición zunchada sistema Emperger, que ya describimos en el capítulo II.

Los angulares de fundición varían de sección según las presiones máximas que corresponden a su situación en el arco, y están arriostrados por cuadros de flejes de acero, y solidariza-

(1) En el *Génie Civil* de 25 de diciembre de 1920 (pág. 530) se explica que Herr Emperger concibe preferentemente los arcos de grandes luces como si fueran compuestos por dos fuertes consolas empotradas en sus arranques en robustos macizos de cimientos y soportando entre sus extremos superiores la parte media del arco, cuya luz queda entonces reducida.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

dos con el hormigón por zunchos de aceros redondos y otros redondos longitudinales.

A pesar de la autoridad y prestigio de su inventor, y de las ventajas aparentes del sistema, que permite utilizar toda la gran resistencia del hierro fundido a la compresión, no se ha extendido este sistema de armaduras en los arcos (1).

Puente sobre el Canal Donau, en Viena (Austria).—En el concurso de proyectos para este puente, el doctor Emperger presentó una original solución de arco articulado.

El único tramo oblicuo, de 59 m. de luz, está dividido en cinco arcos contiguos, pero independientes, con sus arranques decalados para obtener la oblicuidad necesaria (figs. 180 a 182).

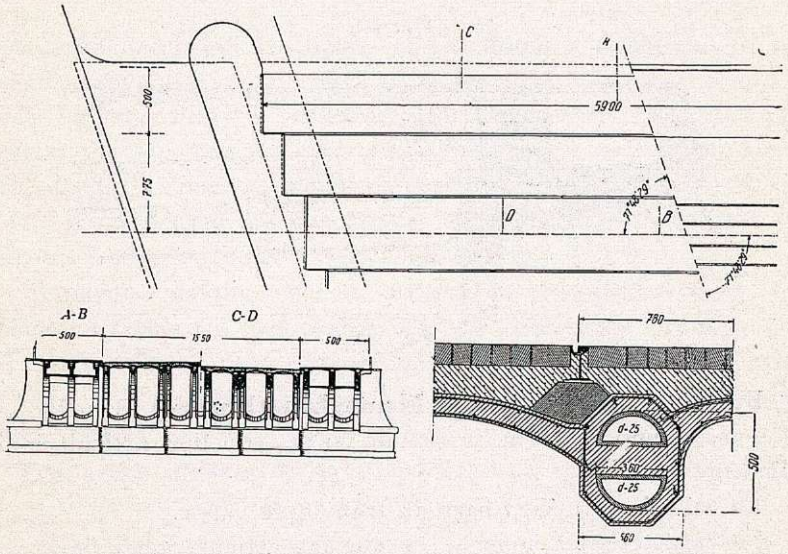


Fig. 180.—Proyeto de puente sobre el Canal Donau.

Cada uno de estos arcos lleva tres armaduras rígidas, articuladas en los arranques y la clave.

Estas armaduras son de fundición zunchada, preconizadas por nuestro ilustre colega austríaco; cada armadura principal está constituída por dos medios tubos de hierro fundido, más o menos

(1) Detalles, en *Génie Civil* de 24 de abril de 1926.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

distantes, según su situación en el arco, reforzados por riostras diagonales y zunchos transversales.

A pesar de que este proyecto tenía el presupuesto más económico (13,4 millones de coronas) de los nueve proyectados en el concurso, éste se adjudicó a una solución metálica *cantilever* de 18,2 millones de pesetas (1).

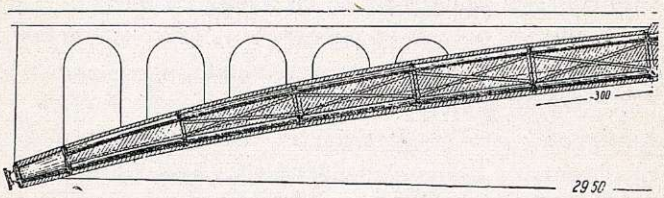


Fig. 181.

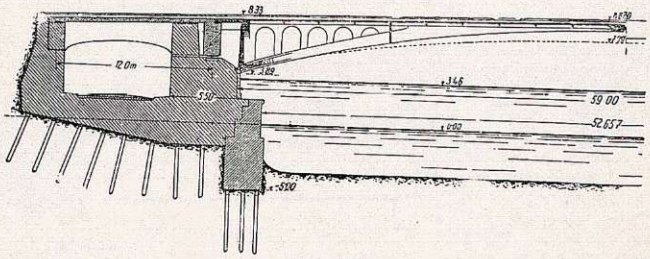


Fig. 182.

Puente sobre el Tarn, en Montaubán (Francia) (fig. 183).—Dos arcos, uno de 53 m. y otro de 56 m., con tres articulaciones Mesnager.

La calzada se utiliza para un tranvía de vapor.

Su característica consiste en que las articulaciones de arranque vuelan 5,00 m. sobre el paramento de estribos.

Se terminó en 1913 (2).

---

(1) Detalles de este concurso, en *Ingeniería y Construcción.* Noviembre de 1926 (pág. 509).

(2) Proyectado y construído por la casa Boussiron. Detalles, en *Génie Civil* de 20 de enero de 1916.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

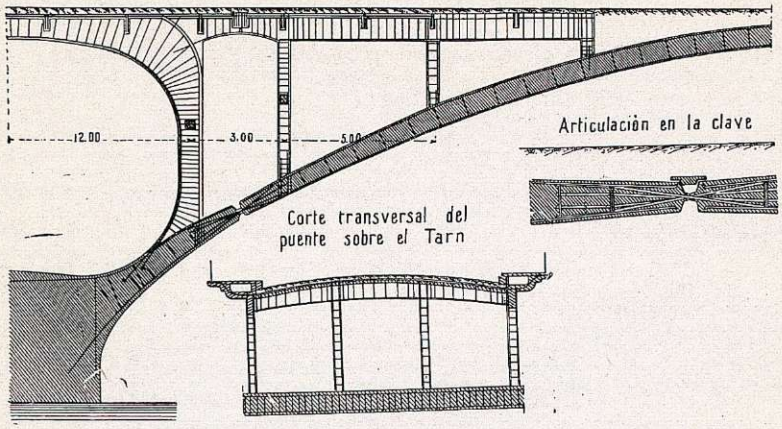


Fig. 183.—Puente sobre el Tarn, en Montaubán.

Puente Candelier (1) **sobre el río Sambre (Bélgica).**—Este puente, construído el año 1921 en la línea de Erquelines a Charteroi, fué proyectado y sus obras dirigidas por M. Freyssinet (2). Resulta una demostración evidente de que aun en un país como Bélgica, donde los puentes metálicos constituían una de sus especialidades, se construyen grandes puentes de hormigón armado para ferrocarriles de gran tráfico y velocidad.

El puente metálico que se trataba de substituir era de tres tramos muy oblicuos (figs. 184 y 185). Se realizó, sin embargo, con dos arcos rectos, pero independientes, para una vía cada uno de ellos, con estribos decalados, en proporción a la oblicuidad del paso (45°).

Los arcos ofrecen la particularidad de que forman cuerpo

(1) El Ingeniero francés M. Candelier, jefe del servicio de Vías y Obras de la Compañía del Norte francés, propietaria del *Nord belge,* no vaciló en recurrir al H. A. para arcos de grandes luces en una vía de gran circulación en la que era necesario substituir puentes metálicos de insuficiente desagüe y resistencia.

A ese efecto, encargó a la casa Limousin y Cía. el proyecto y la ejecución del puente sobre el río Sambre, que se ha llamado *puente Candelier* para honrar así aquella iniciativa.

(2) Detalles, en el ya citado número de los *Annales des ponts et Chaussées.* Marzo y Abril de 1923.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

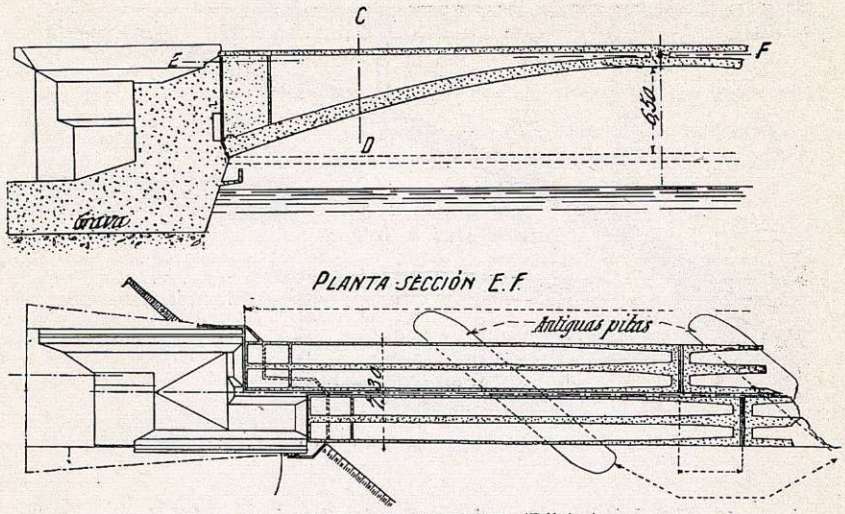


Fig. 184.—Puente Candelier (Bélgica).

con los tímpanos, que son tabiques longitudinales macizos, armados en todos sentidos, pero con barras redondas de diámetros de 10 y sobre todo de 14 mm.

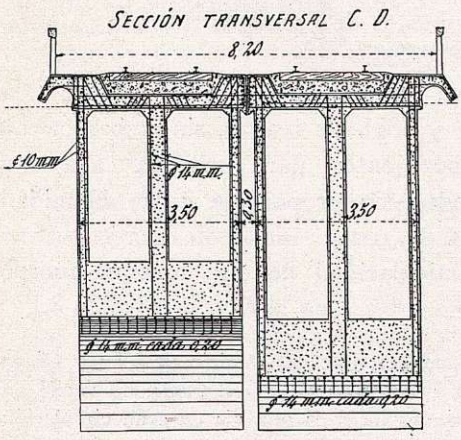


Fig. 185.—Puente Candelier.

En los estribos se solidariza el forjado de plataforma, el de las bóvedas y de los tabiques, por macizos de hormigón pobre (de 200 kgs.) sin armadura, que sólo actúan por gravedad.

Bajo las cargas, el conjunto trabaja como una pieza prismática única para soportar los empujes, los momentos flectores y los esfuerzos cortantes; su gran rigidez aconsejó la doble articulación, que se realizó en la forma descrita anteriormente, tipo Freyssinet (fig. 158).

Puente sobre el Lot, en Port d'Agrès (Departamento de

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Aveyron-Francia) (1).—Proyecto de la casa Boussiron, a la que se adjudicó por concurso, construyéndolo el año 1925 (figs. 186 y 187).

Llevan los dos arcos principales tres articulaciones: una de ellas en uno de los arranques del arco; las otras dos rótulas se han situado cerca de los encuentros del arco con el tablero. *Es, pues, una característica de este puente, la de que sus tres articulaciones se hayan dispuesto por debajo del tablero y ninguna en la clave de los arcos.* Las articulaciones son del tipo de rodadura, de acero moldeado.

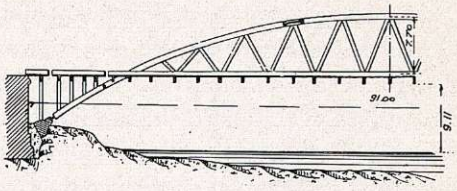


Fig. 186.—Puente sobre el Lot, en Port d'Agrès.

Aunque se ha comportado muy bien este puente en las pruebas, con una flecha máxima de 1,6 mm., consideramos la disposición algo atrevida.

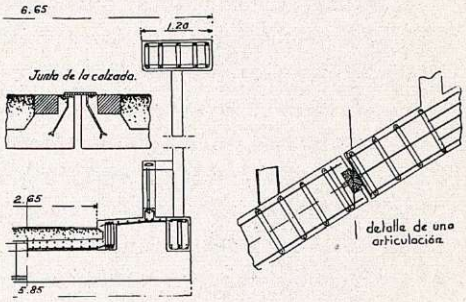


Fig. 187.—Port d'Agrès.

Puente de Echelsbach, en los Alpes bávaros (Baviera) (figura 188).—Con armaduras rígidas para dos arcos gemelos, todo

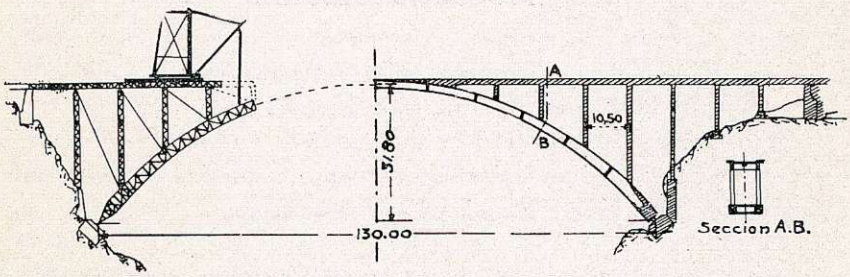


Fig. 188.—Viaducto en los Alpes bávaros.

ello de nuestro tipo, se acaba de construir un arco de *130 m. de luz,* que por su luz, su doble articulación y el procedimiento de

(1) Detalles, en *Le Génie Civil* de 18 de febrero de 1928.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

montaje empleado, es casi una reproducción de nuestro proyecto de puente viaducto de Pino (tomo III, pág. 78). Unicamente difiere en que se han envuelto en hormigón los entramados metálicos de arcos, palizadas y tableros.

Los dos arcos gemelos de hormigón que envuelven las armaduras *son huecos,* con aligeramiento octogonal, casi rectangular, y su altura oscila entre 2 m. en clave y 3,20 m. junto a las rótulas, que son de acero, habiéndose vertido el hormigón en moldes suspendidos de las armaduras del arco.

Para facilitar el moldeo del hormigón envolvente en las palizadas y tableros, se emplearon también armaduras rígidas para estas partes de la obra, que primeramente se habían proyectado con hierros redondos; ello permitió hacer el montaje de todas las armaduras sin cimbras ni puente colgado auxiliar.

Conviene observar que esta obra fué objeto de un concurso de proyectos, en el que las más importantes Sociedades constructoras de puentes metálicos y de hormigón armado presentaron cincuenta soluciones, con presupuestos comprendidos entre 500.000 y 1.200.000 de marcos (1).

Se emplearon aceros especiales con límite elástico de 48 kgs./mm^2., que podían trabajar a 18 kgs./mm^2. Suponemos que también se emplearon supercementos.

§ IV.—**CONCLUSIONES**

El examen de los ejemplos anteriores evidencia:

1.° Que la mayor parte de esos puentes podían haberse construído con arcos empotrados, sin aumento en gasto; en muchos de ellos hasta podían haberse obtenido economías subdividiendo en varios tramos las grandes luces adoptadas.

---

(1) Complace al autor que en tan reciente e importante concurso y obra se hayan adoptado las disposiciones y procedimientos por él preconizados para armaduras rígidas, articulaciones, arcos gemelos y montaje y moldeo sin cimbra.

Pueden leerse detalles de la construcción de este muy interesante puente en la *Revista de Obras Públicas,* año 1929, pág. 423; en *Génie Civil* de 7 de febrero de 1931 y, sobre todo, en el libro *Die echelsbacher brucke,* publicado en 1931 por la casa Verlag von Wilhelm Ernest, de Berlín.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

2.º Que los más reputados ingenieros evolucionan de opinión respecto a la conveniencia de las articulaciones; Freyssinet, que empezó articulando sus puentes de la Veurdre, Vichy y Candelier, renuncia a las ventajas de la articulación en sus grandes arcos de Saint-Pierre de Vauvray y Plougastel, por estimar que el empotramiento de los arcos al aumentar su rigidez con relación a las sobrecargas, disminuye su peso y su empuje sobre los apoyos.

3.º Idéntica perplejidad se observa respecto al número de articulaciones; eminencias científicas, como Mesnager y Vierendeel, en el Extranjero, se inclinan el uno a la triple articulación; el otro a la rótula única, mientras Freyssinet, que empezó por la triple articulación, sólo adopta dos rótulas en su puente Candelier. Iguales diferencias ocurren en España, donde nuestros distinguidos compañeros Moreno y Camón, prefieren, respectivamente, la doble y la triple articulación.

4.º Por último, tampoco existe conformidad en lo que a los tipos de articulaciones se refiere, pues a pesar de la economía que para los arcos de H. A. parece ofrecer el tipo Mesnager y aun más la articulación Freyssinet, continúan en Alemania, Italia y Suiza, empleando rótulas de hierro y acero fundido, pretendiendo sus constructores que los tipos empleados se comportan perfectamente.

Tal disparidad de criterios y experiencias justifica las reservas que el autor significó ya en su tomo III, en las conclusiones de su capítulo XIV al ocuparse de las *bóvedas de fábrica articuladas,* que le han impulsado a proyectar de preferencia arcos empotrados (1).

Reconocemos, sin embargo, que para luces *obligadas* entre 40 y 80 m. y con cimientos de dudosa inconmovilidad, en los que un asiento de los apoyos pudiera provocar la ruina de un arco empotrado, pueden convenir las articulaciones, prefiriendo el autor entonces la triple rótula de tipo Freyssinet, que aleja todo peligro de oxidación, mientras las de *uralita* no demuestren sus ventajas sobre aquéllas.

Pero aun en estos casos, no debe omitirse el examen com-

(1) Y en su artículo de la *Revista de Obras Públicas* de 15 de julio de 1924 sobre el mismo tema.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

parativo de los arcos articulados, con otras soluciones de tramos independientes rectos, o de arcos sin empuje, que al transmitir sólo presiones verticales al terreno, anulan la principal ventaja de las articulaciones, según veremos en el siguiente capítulo.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CAPÍTULO VI

ARCOS SIN EMPUJE

§ I.—**Con arcos inferiores.**

Con tímpanos de celosía tipo Visontini.—Con tabiques rígidos en tímpanos. Con tímpanos macizos y rígidos tipo Wunsh.

§ II.—**Con pórticos.**

En América.—En Viena.—En Bélgica.

§ III.—**Con arcos superiores.**

Disposiciones posibles.—Puente sobre el Nalón, en La Oscura (Oviedo).—Puente de Prat de Llobregat.—Puente en Montauban, sobre el canal de Lissac (Francia).—Puente de Villa Santina sobre el Tagliamento (Italia). Puente Cobianchi (Italia).—Puente sobre el río Melegue (Túnez).

§ IV.—**Con puentes colgados.**

Puente-acueducto colgado sobre el río Guadalete (Jerez).—Paso superior colgado de Laon (Francia).—Puente colgado de Lusancy sobre el río Marne (Francia).—Puente de Montrose (Inglaterra).

§ V.—**Conclusiones comparativas.**

Con arcos inferiores.—Con pórticos.—Con arcos superiores.—Puentes colgados.

Con alguna frecuencia hay que proyectar puentes en emplazamientos cuyos terrenos, de escasa consistencia, aconsejan, económicamente, evitar empujes oblicuos en pilas y estribos. Otras veces, las rasantes obligadas son muy bajas y no caben arcos

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

inferiores, ni siquiera a veces vigas rectas de tablero inferior.

Se pueden en ambos casos emplear *arcos sin empuje,* que clasificamos en tres tipos:

I. *Con arcos inferiores, atirantados o rígidos.*

II. *Con arcos superiores atirantados.*

III. *Con puentes colgados.*

Presentaremos los ejemplos más característicos de estos tres tipos de arcos sin empuje, para deducir después de su examen las *Conclusiones* comparativas.

§ I.—CON ARCOS INFERIORES

Para suprimir los empujes en esta clase de arcos no cabe más solución que la de atirantar éstos, o la de conseguir que los tímpanos enlacen tan rígidamente el arco y tablero, que el conjunto del entramado no determine en sus apoyos sino reacciones verticales.

Para conseguirlo se precisa recurrir a disposiciones algo artificiosas, que pasamos a examinar en algunos ejemplos.

Puente Chon-Chol, en Nueva Imperial (Uruguay).—Gracias a los tirantes que unen los extremos de los arcos, las pilas pueden constituirse con simples palizadas de dos pilotes (fig. 189).

Los tramos resultan así muy ligeros y siendo numerosos, como

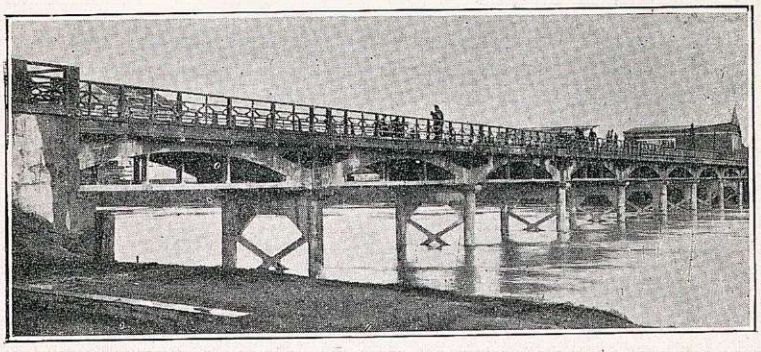


Fig. 189.—Puente Chon-Chol, en Nueva Imperial (Uruguay).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

en este puente, el exceso en mano de obra y cimbras sobre el tipo de tramos rectos corrientes, podrá quedar compensado por la economía de material.

Debe en este caso cuidarse mucho de que no se rompan los tirantes, ni de que se oxiden sus armaduras, *de cuya permanencia depende toda la estabilidad del puente.*

Es, pues, un peligro y un serio inconveniente de esta disposición.

Con tímpanos de celosía, tipo del ingeniero italiano Visintini (figura 190).—Su construcción es cara por los moldes complicados y la mano de obra delicada que exige; tampoco los nudos que enlazan las diagonales y montantes con el arco inferior y el nervio superior pueden considerarse como articulados, por lo que en ellos se producirán esfuerzos secundarios de torsión difíciles de apreciar, que con el tiempo determinan las grietas que hemos observado en las vigas triangulares tipo Zafra (1).

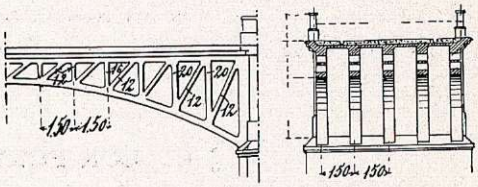


Fig. 190.—Tipo Visintini.

Con tabiques rígidos en tímpanos.—Nos parece mejor la disposición empleada en algunos puentes por Hennebique, en la que cada arco es un tabique macizo, armado en toda la superficie, para obtener con el entramado metálico unos tímpanos con rigidez propia (fig. 191).

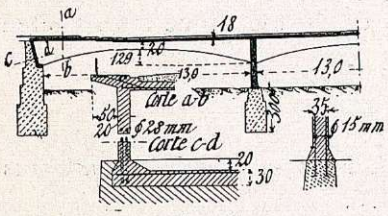


Fig. 191.

Con tímpanos macizos y rígidos, tipo Wünsch.—Igual objeto ha perseguido el ingeniero húngaro Wünsch, armando los tímpanos macizos con hierros perfilados, sólidamente empalmados a fuertes montantes verticales, que se empotran en los macizos de estribos (fig. 192).

(1) De que nos hemos ocupado en el capítulo I.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Se consiguen así grandes rebajamientos (hasta 1/15) y espesores totales de clave de 0,40 y se suprimen al mismo tiempo los empujes, lo que permite reducir el espesor de los estribos.

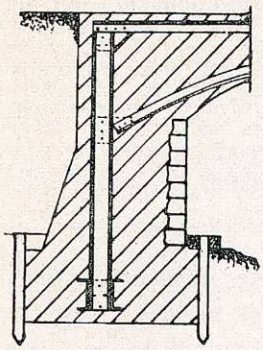


Fig. 192.

Ofrece también esta disposición la ventaja de que por efecto de la rigidez de las armaduras, que se montan previamente, pueden suspenderse de ellas el molde del hormigón, suprimiéndose así la cimbra.

No la creemos, sin embargo, económica, sino para arcos de luces inferiores a 20 metros, y en estos casos serán aun más baratos los tramos rectos. Esta debe ser la razón por la que no se ha extendido este sistema.

§ II.—CON PORTICOS

Los progresos de la mecánica elástica permiten hoy calcular con suficiente aproximación las estructuras rígidas, que se designan con el nombre de pórticos, y que pueden realizarse cuando esté asegurada la inconmovilidad de los apoyos.

Claro es que entonces estos apoyos necesitan fuertes armaduras para resistir a los esfuerzos de flexión a que los someten los empujes del arco.

Citaremos algunos ejemplos.

En América.—En los Estados Unidos se han hecho algunas aplicaciones del tipo de la figura 193.

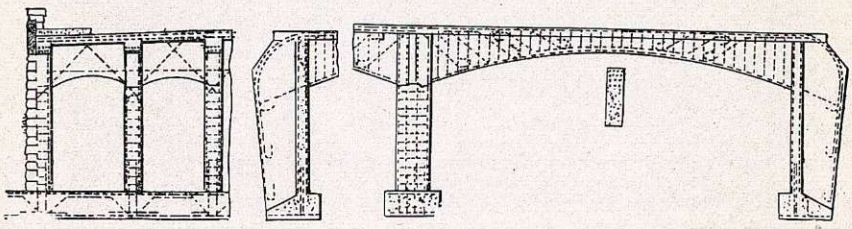


Fig. 193.—Pórticos, tipos americanos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En Viena.—En el gran concurso de proyectos que se celebró en Viena, para el puente Brigitta, sobre el Donaukanal, se presentaron dos proyectos de pórticos en arco de 56 y 53 m. de luz (figs. 194 y 195).

El primer proyecto (A), cuyo presupuesto ascendía a 15 millones y medio de coronas austríacas, consiste en un pórtico articulado en los arranques y con tramos extremos en voladizos, contrapesados con terraplén (fig. 194).

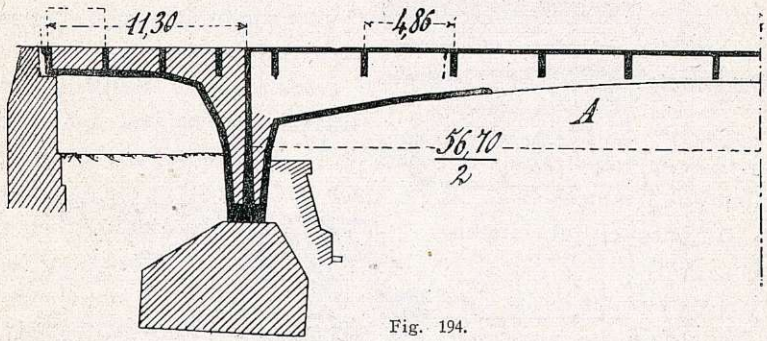


Fig. 194.

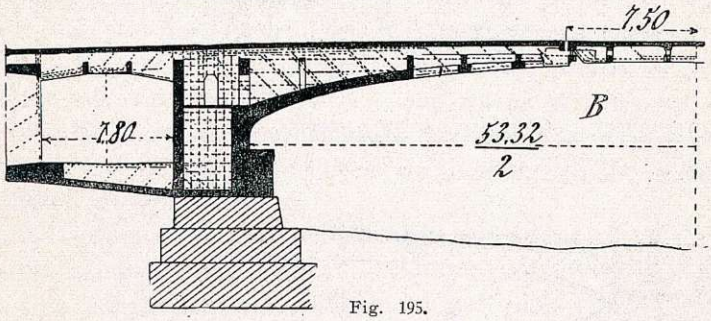


Fig. 195.

El otro proyecto (B) (fig. 195) hubiera costado 16,6 millones de coronas y está constituído como un puente *cantilever*, con un tramo central independiente de 15 m., apoyado sobre los voladizos del arco por medio de unos rodillos de acero colocados entre chapas del mismo metal (1).

En estas dos soluciones los empujes del arco están equilibrados por las armaduras de los estribos.

(1) A pesar de las ventajas de duración y economía que parecían ofrecer estas soluciones de H. A., se adjudicó el concurso a una solución *metálica* en cantilever de 18,2 millones de coronas. Detalles, en *Ingeniería y Construcción* de noviembre de 1928, pág. 509.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En Bélgica.—Recientemente se han construído tres interesantes puentes en pórtico sobre el Canal de Charleroi a Bruselas, con disposiciones variadas.

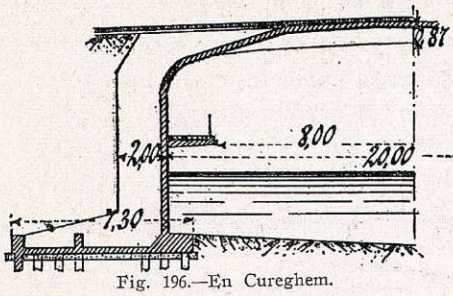


Fig. 196.—En Cureghem.

En el puente de Cureghem, en Bruselas, las vigas pórticos están a 1,21 m. de eje a eje. Se enlazan los pórticos por un forjado de piso en la parte central del arco, que continúa como arco y después como paramento de estribo. Vigas y forjados se empotran en la zapata de H. A., que se apoya sobre los pilotes y tablestacas de H. A. que constituyen el cimiento (fig. 196).

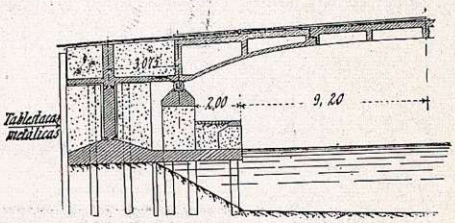
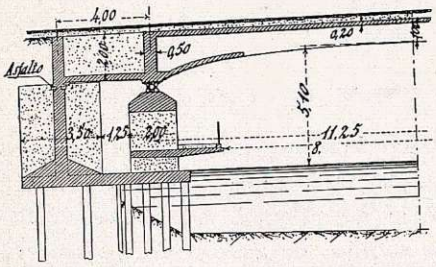


Fig. 197.—Puente de la Isla Pequeña.

En los puentes de las figuras 197 y 198, los arcos pórticos se apoyan en cada margen en un estribo y una pila; sobre los estribos, en los que las reacciones son negativas, se anclan por medio de articulaciones Mesnager, dentro de macizos de hormigón pobre; sobre las pilas se transmiten las cargas por medio de aparatos de apoyo metálicos, uno de ellos fijo y otro móvil.



Fig, 198,
Puente de la carretera al bosque de Hal.

La disposición de la figura 198 es *hiperestática* y exige cimientos seguros; el arco de la figura 197 es, en cambio, *isostánico*, por efecto del tramo central del arco, que se apoya libremente sobre las dos consolas de arranques de los arcos; no peligra el arco, aunque sufran asiento los pilotes de cimientos (1).

(1) Estos tres puentes han sido proyectados por el ingeniero belga M. Boucan, y se detallan en la *Revista de Obras públicas* del año 1931, pág. 471.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

§ III.—CON ARCOS SUPERIORES

Disposiciones posibles.—Cuando la rasante tiene que estar a pequeña altura sobre el nivel de crecidas y no caben arcos inferiores, ni tramos rectos con tablero superior, se emplean con frecuencia arcos superiores, cuyos empujes se equilibran por el el tablero inferior, *que actúa como tirante.*

Pueden adoptarse dos disposiciones (fig. 199).

En (A) los arcos son vigas curvas trianguladas, del antiguo tipo, y el tablero queda rígidamente unido al arco.

En (B) el tablero queda suspendido del arco por medio de péndolas, análogamente a lo que vimos en algunos ejemplos de grandes arcos; pero aquéllos empujan en los apoyos, mientras que ahora se trata de que el tablero sea al mismo tiempo el tirante que anule los empujes.

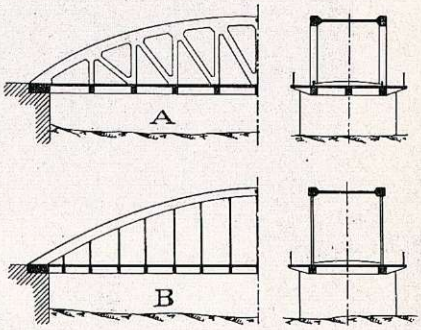


Fig. 199.

Si en la disposición (B) en lugar de péndolas suspendidas del arco, las damos sección robusta y las empotramos fuertemente en el arco y en el tablero, obtenemos unas vigas rígidas del tipo Vierendeel, que es la que hoy se emplea más frecuentemente para tramos de 25 a 40 metros.

Describiremos algunos ejemplos.

Puente sobre el Nalón, en la Oscura (Oviedo).—Construído recientemente por la Diputación provincial de Oviedo (1).

Son dos tramos de 26,50 m., fijos en la pila y sobre articulación de rótula en los estribos (figs. 200 a 202).

Importaron los dos tramos 96.000 pesetas y los cimientos 46.000

(1) Autor del proyecto y director de la obra: ingeniero D. Juan de la Torre Boulin. Constructor: ingeniero D. J. Sánchez Murielaga.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

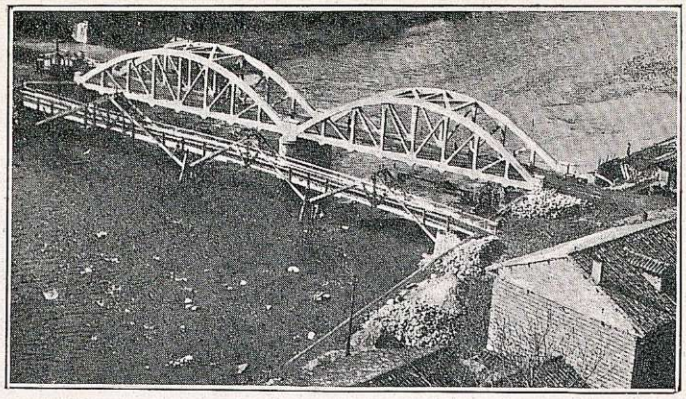


Fig. 200.—Puente sobre el Nalón, en la Oscura (Oviedo).

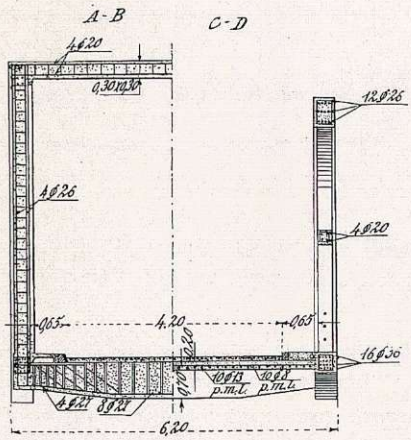


Fig. 201.—Puente de la Oscura (Oviedo).

pesetas, es decir, unas 2.670 pesetas por metro lineal de tramo, lo que no es extraño, pues las diagonales oblicuas, además de los inconvenientes de orden mecánico, que ya señalamos al ocuparnos de las vigas rectas aligeradas por triángulos, encarecen los moldes y la mano de obra.

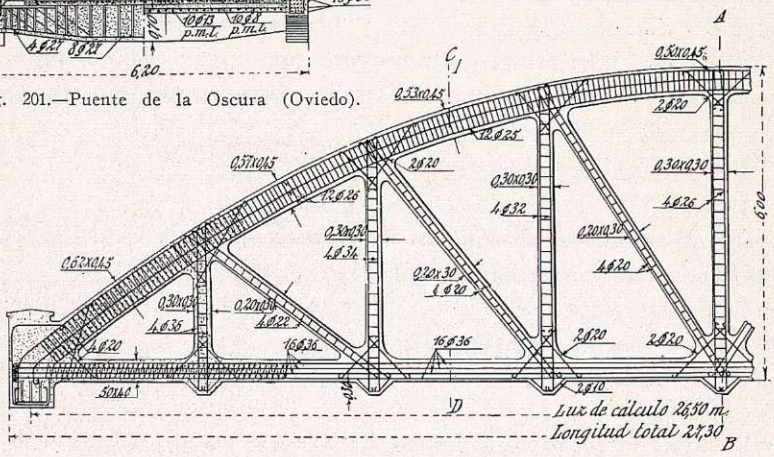


Fig. 202.—Puente de la Oscura.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Puente de Prat de Llobregat (figs. 203 y 204).—Cinco tramos de 34,5 m. de luz entre ejes de pilas, con andenes exteriores en voladizo.

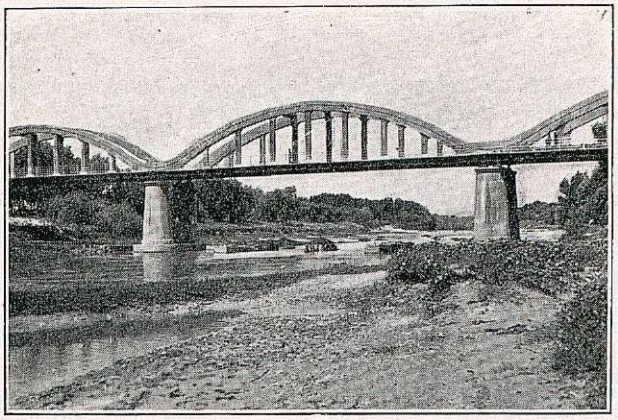


Fig. 203.—Puente de Prat de Llobregat.

Las cerchas arqueadas se calcularon como vigas Vierendeel y se apoyaron sobre rodillos de acero sobre las pilas. El tablero es de

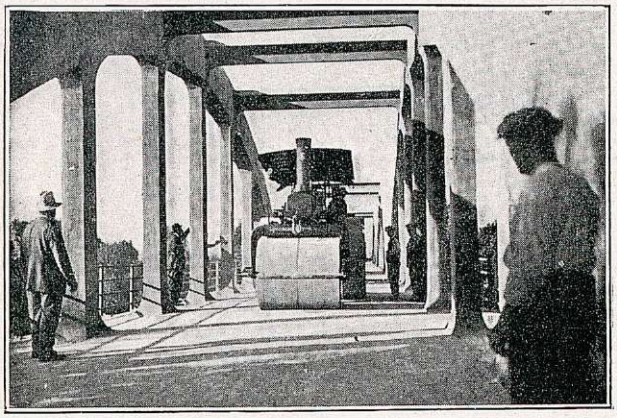


Fig. 204.

nervios y forjado corriente, sosteniendo el firme de macadam asfáltico.

Las pruebas previstas en el proyecto con carros de seis toneladas

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

se hicieron con apisonadoras de 20 toneladas y grandes camiones, cargando los andenes a 400 kgs./m². Las flechas no llegaron a un milímetro, reaccionando la estructura después de separar la carga (1).

Puente en Montauban, sobre el Canal de Lissac (Francia).—La luz entre apoyos de este tramo es de 30 m. (fig. 205).

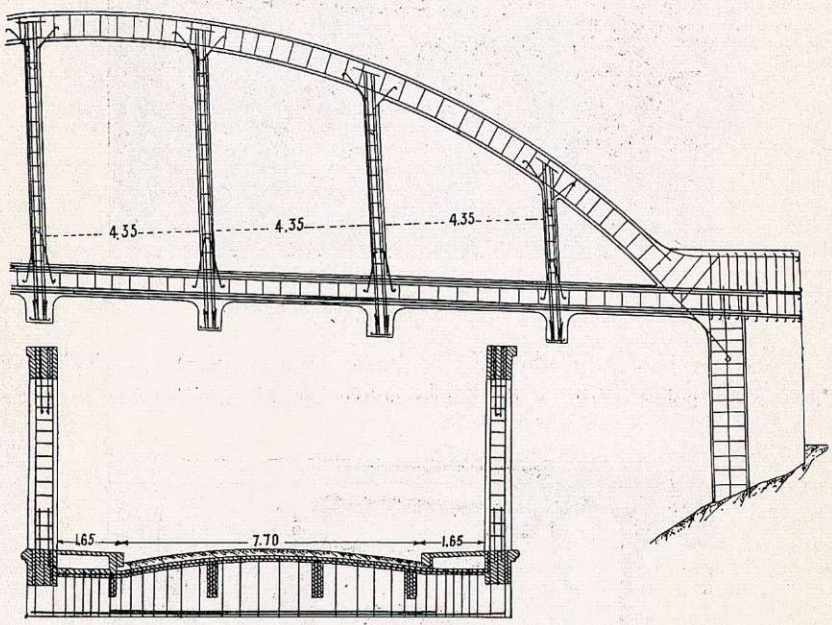


Fig. 205.—Sobre el Canal de Lissac

Las vigas curvas son del tipo Vierendeel y ofrecen la particularidad de no haber puesto arriostramientos entre las claves de los dos arcos (2).

Con arreglo a este tipo se han construído muchos tramos en la zona francesa de Marruecos y en todos los países.

---

(1) Autor del proyecto: ingeniero D. Federico Turell. Ejecutado por la Sociedad "Construcciones y Pavimentos".

(2) Este tramo es continuación del arco articulado sobre el río Tarn, en Montauban, descrito en el capítulo anterior. Detalles, en *Génie Civil* de 20 de enero de 1916.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Puente de Villa Santina, sobre el Tagliamento (Italia).—Tramo central de 40 m. de luz y dos laterales de 8 m. (1).

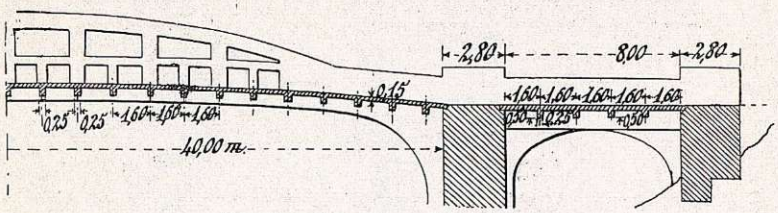


Fig. 206.—Puente en Villa Santina.

Para carretera de 5 m. de ancho, entre las barandillas de H. A. La disposición es original, pues suprime casi por completo el

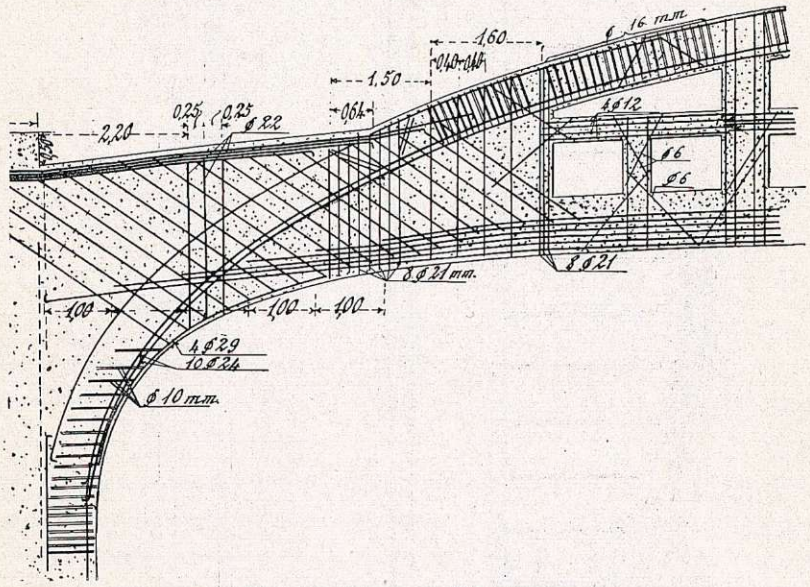


Fig. 207.—Puente en Villa Santina.

empuje de los arcos, cuyos montantes se aprovechan para la barandilla (figs. 206 y 207).

(1) Detalles, en *Ponti in cemento armato,* de Santarella e Miozzi. Láminas 17 y 18. Se construyó en cuatro meses, en 1916, por necesidades militares, utilizando los apoyos de un puente viejo destruído por una crecida, y fué nuevamente destruído en la retirada de Caporeto por el ejército italiano.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

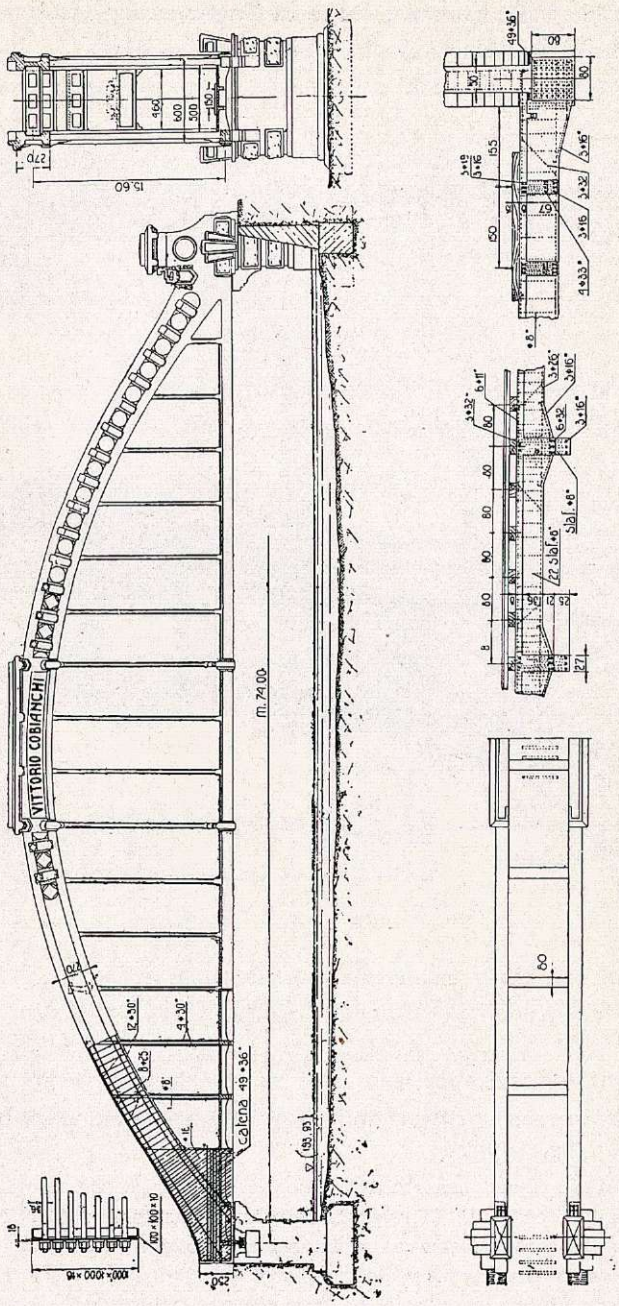


Fig. 208.—Puente Cobianchi (Italia).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Calculado para un cilindro de 23 toneladas y un tren de artillería pesada y sobrecarga estática de 500 kg./m².

Pero los moldes de los arcos-vigas, así como la cimbra y el moldeo del hormigón, tuvieron que resultar más caros que con otras disposiciones de mayor sencillez.

Puente Cobianchi, en Intra (Italia).—En el ferrocarril Pallanza-Intra (fig. 208).

El arco, de 74 m. de luz entre apoyos, tiene sección de doble T con 2,70 m. de altura (espesor del alma, 0,26; anchura de las alas, 0,90; altura, 0,40).

El tirante inferior del arco lleva 49 redondos de 36 mm. de una sola pieza, atornillados en sus extremos a chapas de palastro de 1 × 1 × 0,016.

El tramo se apoya sobre dos placas fijas en un estribo y dos placas con rodillos en el otro.

Se calculó para dos locomotoras de 45 tn. en tres ejes y cuatro vagones de 32,5 tn. en dos ejes.

El trabajo del hormigón de 300 kgs. no excedió de 60 kg./cm².

La máxima deformación en las pruebas, con la carga completa, fué de 1 mm. en el arco y de 2 mm. en el tablero.

Es uno de los puentes que más honran a la Ingeniería italiana y al autor del proyecto, muy ilustre ingeniero y profesor Luigi Santarella, autor de numerosos libros, entre ellos *Ponti in cemento armato,* del que extractamos interesantes ejemplos para este tomo.

Puente sobre el río Melegue (Túnez).—Se adjudicó por concurso al proyecto de los ingenieros Pelnard, Considère y Caquot (figura 209).

Una capa de fango líquido de 11 a 12 mm. de espesor en todo el lecho del río aconsejó la adopción de un tramo único de 90 m.

La altura de las crecidas obligó a emplear un arco superior, atirantado por el tablero; éste se apoya en los estribos por una articulación de H. A. mediante dos superficies cilíndricas armadas con cuadrículas de redondos, cuya adherencia inicial se reduce por dos hojas de cinc con engrase intermedio.

Para disminuir el peso muerto se aligeraron con celosías los

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

grandes arcos y se empleó el cemento fundido, lo que permitió además acortar el plazo para descimbramientos.

La ligereza así obtenida permitió apoyar este tramo, con la

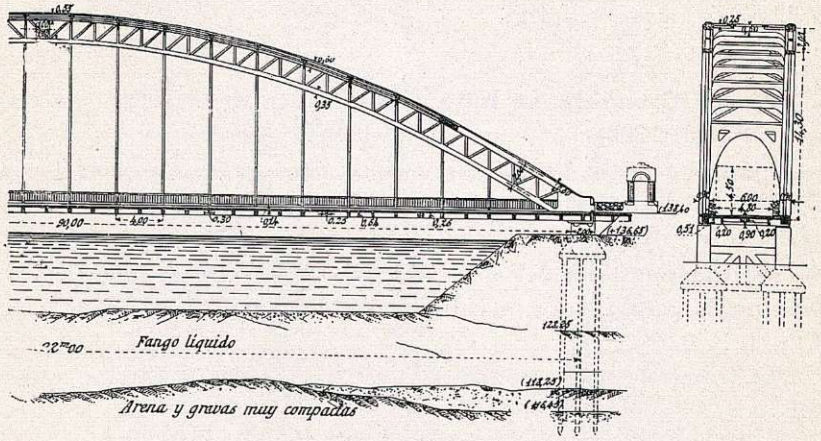


Fig. 209.—Puente sobre el río Melegue (Túnez).

luz excepcional de 92 m., sobre someros estribos cimentados cada uno con 18 pilotes.

La flecha máxima al descimbrar fué solo de 58 mm., o sea $\frac{1}{1.580}$ de la luz; pero en la ejecución se observaron las especialísimas precauciones que exige una obra tan delicada que requiere unos moldes y una mano de obra perfectos (1).

§ IV.—CON PUENTES COLGADOS

Mejor que explicaciones valen ejemplos.

Puente-acueducto colgado sobre el río Guadalete (Jerez).—Este puente-acueducto, proyectado y construído por la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles, para la conducción de aguas de Jerez, tiene un tramo *colgado* de 57 m. de luz, con dispo-

(1) Detalles, en *Génie Civil* de 17 de septiembre de 1927.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

siciones nuevas y originales, debidas a mi aventajado discípulo y colaborador D. Eduardo Torroja (figs. 210 y 211).

El acueducto es un cajero de H. A. con la disposición preconizada por el autor hace treinta años (1); las paredes laterales son las vigas del tramo; la losa superior sirve al mismo tiempo de pasarela y de cabeza de compresión del tramo; en la losa inferior se apoya la tubería de fundición de 0,42 m., así abrigada de la intemperie y cómodamente inspeccionada por agujeros de hombre cada 20 cm., cerrados con tapas móviles de H. A.

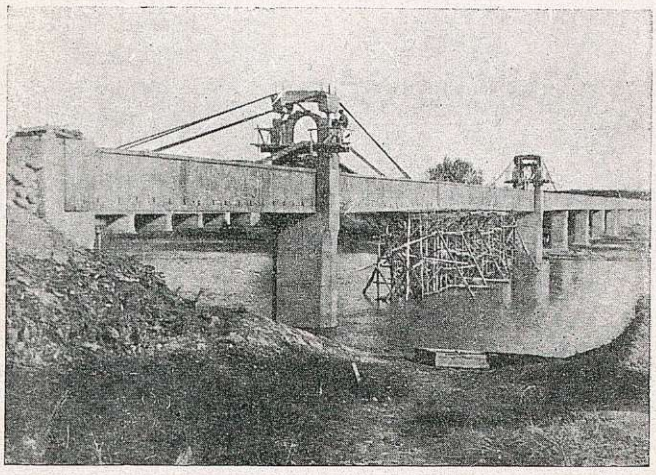


Fig. 210.—Puente colgado del Guadalete.

El tramo colgado está constituído como un *cantilever,* con dos ménsulas de 20 m. en voladizo y un tramo central de 17 m. apoyado en aquéllas (fig. 211).

Los tramos en ménsula están sostenidos por tirantes de cable hormigonado que apoyan sobre la pila.

Cada tirante lleva cuatro cables de acero de 63 mm. de diámetro formado por siete cordones de treinta y siete alambres de 3 mm.

Los tramos de cajero que constituyen las ménsulas se apoyan sobre la pila por una rótula que anula los esfuerzos debidos a los cambios de temperatura o a los alargamientos elásticos del cable.

(1) Véase el acueducto de Araxes, capítulo IX.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

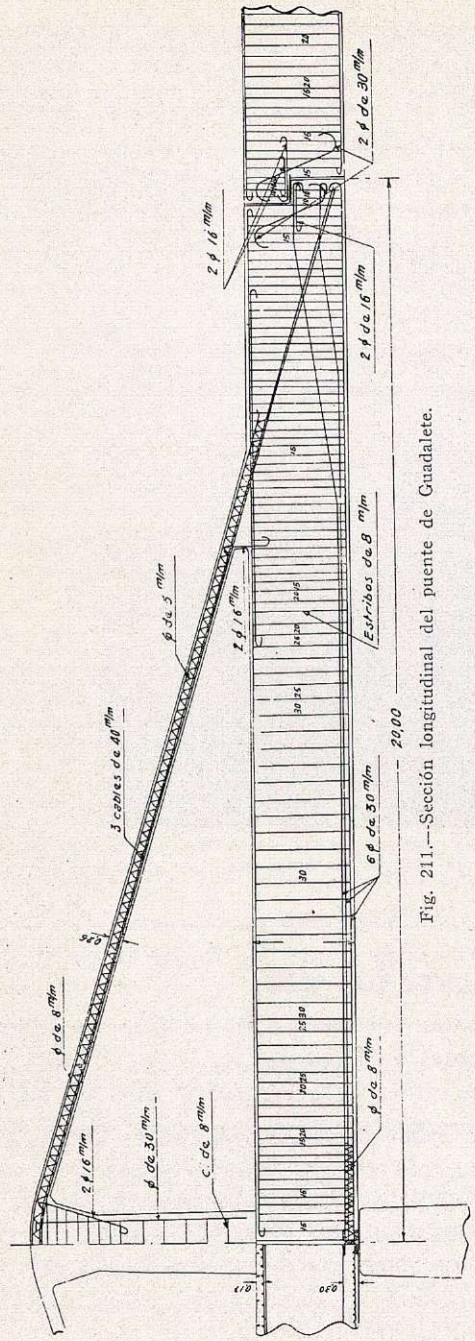


Fig. 211.—Sección longitudinal del puente de Guadalete.

La dificultad principal de estos tramos colgados estribaba en que debían tensarse previamente los cables, para que, al entrar en trabajo, no se alargaran excesivamente; pero este problema se resolvió con toda facilidad por el siguiente procedimiento, ideado por el Sr. Torroja, que dirigía también aquellas obras: la cabeza o parte superior de la pila se hormigonó separada del resto, de tal modo que pudiera desplazarse verticalmente, para lo que las armaduras verticales quedaban libres en tubos preparados al efecto y los cables apoyaban sobre camas de palastro empotradas sobre la cabeza de la pila.

Pasado el mes de fraguado de los tramos *se levantaron las cabezas de las pilas con gatos hidráulicos,* tensando con ello los cables hasta hacer despegar los tramos de la cimbra y se enclavó la obra, terminando de hormigonar las pilas y haciendo el revestimiento de los cables.

Esta interesante obra, que está prestando servicio desde 1926, fué contratada en 240.720 pesetas, o sean 1.350 pesetas por metro lineal.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Evidencia que pueden utilizarse en puentes de H. A. las enormes resistencias obtenidas con los cables de acero (1).

Paso superior colgado de Laon (Francia).—Posteriormente al puente-acueducto colgado que acabamos de describir, se construyeron en 1928 dos tramos colgados de 35 m. sobre las vías de la estación de Laon (figs. 212 y 213).

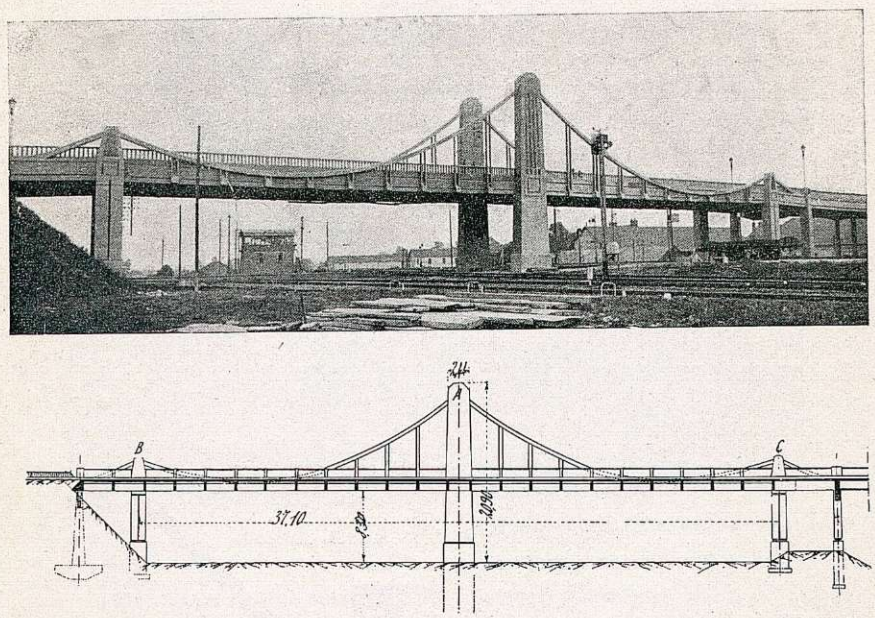


Fig. 212.—Paso superior colgado de Laon.

En estos tramos el tablero está colgado de los cables por medio de péndolas a 3,50 m. de distancia.

Los cables y péndolas están constituídos por aceros redondos de 13 mm. envueltos en mortero de cemento, que únicamente sirve en este caso para proteger el metal.

(1) Más detalles, en un artículo del Sr. Torroja, en la *Revista de Obras Públicas* de 1927, pág. 193, y en una nota al II Congreso Internacional de Puentes celebrado en Viena el año 1928, publicada en el *Boletín* correspondiente, pág. 683.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

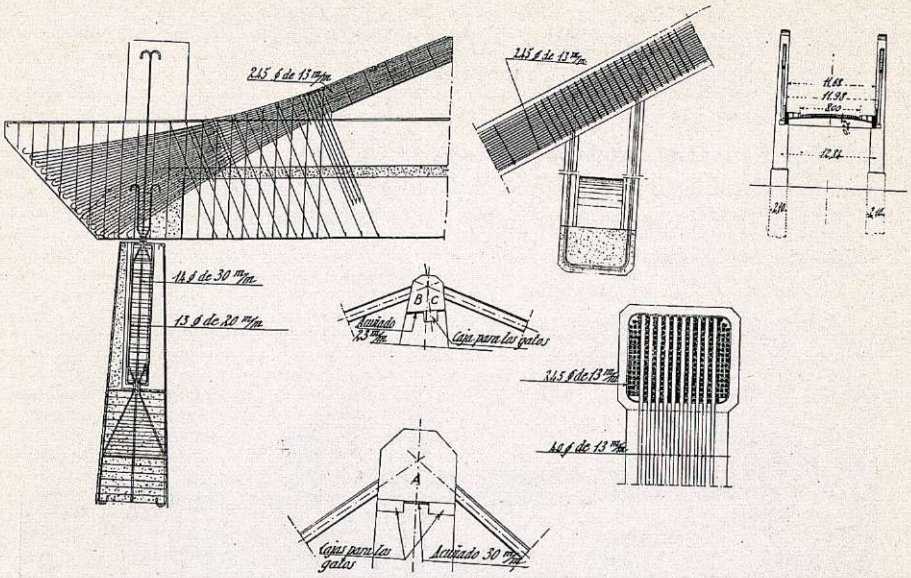


Fig. 213.—Detalles del paso superior de Laon.

Resulta el paso superior ligero y elegante, pero sospechamos que más caro que otras soluciones (1).

Puente colgado de Lusancy, sobre el río Marne (Francia) (2).—Es una disposición de carácter excepcional, *que no creemos debe imitarse* (figura 214).

El puente está constituído por un tramo colgado de 55 m. de luz, *con triple articulación,* aunque con aspecto exterior de *puente colgado* que quiso mantenerse para conservar el del

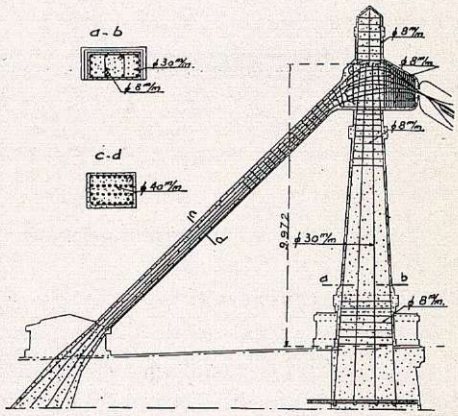


Fig. 214.—Puente Lusancy.

(1) Proyecto y obra de la firma "Limousin y Cía."; detalles, en la *Revista de Obras públicas* de 1931, pág. 441. El constructor, como puede verse en ese artículo, empleó un procedimiento de alargamiento previo de los cables, análogo al que el Sr. Torroja aplicó en el anterior ejemplo.

(2) Detalles, en *Annales des Ponts et Chaussées,* año 1926, pág. 215.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

antiguo puente de este tipo que había que reconstruir. Las dos articulaciones de arranques estaban situadas cerca de los apoyos del arco sobre los pilares de estribos; la tercera articulación, en el centro del arco, donde éste viene a ser tangente al tablero; todas ellas son del tipo Mesnager.

El puente resultó más caro que con otras varias soluciones presentadas en el concurso de proyectos, como no podía menos de suceder, dada la inútil complicación de las tres articulaciones, que no ofrecen en este caso ninguna ventaja.

Puente de Montrose (Inglaterra).—Más que de puente colgado es del tipo *Cantilever* y para carretera. El tramo central tiene 65 m. de luz, y los laterales, 32,5 m. (fig. 215).

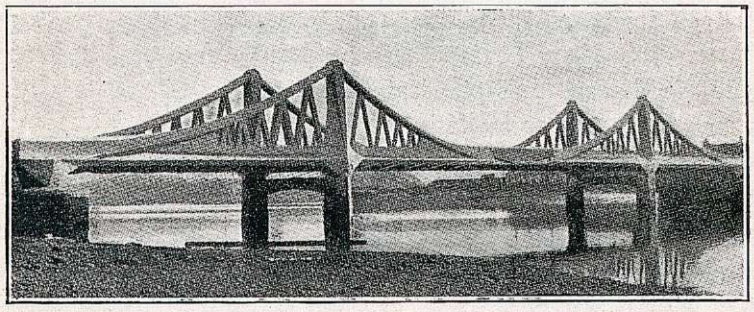


Fig. 215.—Puente de Montrose (Inglaterra).

Construído en 1930 por 90.000 libras, o sean más de 30.000 pesetas por metro lineal de tramo (1).

Resulta una disposición carísima, suponemos que por los cimientos, moldes y mano de obra.

§ V.—CONCLUSIONES COMPARATIVAS

Cualquiera que sea la disposición de estos arcos sin empuje, como son más caras que los tipos corrientes de tramos rectos o arcos inferiores empotrados, sólo deben aplicarse si las rasantes o los cimientos, u otras circunstancias, así lo exigieran.

(1) *Concrete and Constructional Engineering,* febrero, 1931.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Con arcos inferiores.—Son muy contados los ejemplos que figuran en libros y revistas, y los que se citan no han sido muy reproducidos; ello parece demostrar que son discutibles sus aparentes ventajas.

Con pórticos.—Son puentes muy científicos; pero con sus formas variadas, con arreglo a las exigencias de cada caso, resultan caros de cimbras y moldes.

Con arcos superiores.—Se han generalizado bastante, y son desde luego más airosos de aspecto que los tramos rectos con vigas aligeradas de forma rectangular, de que nos ocupamos en el capítulo primero.

Deben desecharse las celosías trianguladas, cuyas diagonales complican la ejecución y no satisfacen al cálculo, pues que el empotramiento efectivo de estas piezas desvirtúa la hipótesis de la articulación, por lo que no es isostático el entramado.

Son preferibles y se aplican con más frecuencia las vigas curvas tipo Vierendeel, con montantes verticales, para luces comprendidas entre 20 y 40 m.

Para reducir el coste de estos tipos de puente es muy conveniente unificar las luces; así las cimbras y moldes puedan amortizarse en varios tramos.

Cuando sea forzoso proyectar arcos superiores con luces mayores de 40 m., resultará más económica la disposición de tablero suspendido por medio de ligeras péndolas.

Pero insistimos en que debe huirse de la alucinante propensión a las grandes luces para estos arcos.

Si se ejecuta un solo tramo, no sólo los volúmenes de hormigón y peso de hierro son mucho mayores que dividiendo la luz en dos o más tramos, sino que en un solo arco el coste de cimbras y moldes tiene que amortizarse de una vez, mientras que dividiendo la luz en varios tramos, este gasto es mucho menor y se amortiza en los varios tramos en que puede sucesivamente emplearse.

Verdad es que entonces habrá que añadir una o varias pilas suplementarias; pero como al reducir las luces de los tramos su peso disminuye sensiblemente, el coste de estas pilas intermedias de pe-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

queña altura será casi siempre inferior a la gran economía obtenida por la subdivisión del tramo único en varios tramos.

Puentes colgados.—Se creía que los considerables alargamientos que sufren los cables de acero cuando se tensan impediría su empleo en puentes de H. A.

Pero el original procedimiento imaginado por D. Eduardo Torroja para poner en tensión previa los cables anula aquel inconveniente.

Queda siempre, sin embargo, la desventaja de que el hormigón con que se envuelven cables y péndolas no contribuye a la resistencia y aumenta el peso del puente y sus moldes y mano de obra.

Así es que sólo cuando por la escasa consistencia del terreno de cimientos convenga suprimir empujes oblicuos en los apoyos y reducir el peso de los tramos en arco, puede recurrirse a los puentes colgados.

Deberá, sin embargo, compararse su coste con el de la solución enteramente metálica de puente colgado, en el que se limite el empleo del H. A. al forjado del piso, que para mayor ligereza puede pavimentarse con losetas de asfalto comprimido (1).

Aun así, y para tramos que no excedan de 50 m. de luz, esta solución metálica de puente colgado es más cara que los tramos rectos y arcos de H. A., según pudimos comprobar en un estudio comparativo que hicimos para los puentes que construímos en Fernando Poo y Guinea.

(1) Esta fué la solución proyectada y construída por el autor en su puente de Amposta, sobre el Ebro, con un tramo colgado de 135 m., descrito en la *Revista de Obras Públicas* de 1914, págs. 527, 539 y 551.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

CAPÍTULO VII

APOYOS EN LOS PUENTES DE HORMIGON ARMADO

Inconvenientes de los apoyos de H. A.—Apoyos de fábrica para tramos rectos. Palizadas de H. A.—Pilares de H. A. en tramos continuos.—Secciones y armaduras de pilares.—Pilas y estribos de H. A.—Conclusiones.

Inconvenientes de los apoyos de H. A.—Poco tenemos que añadir a lo que dijimos sobre estribos y pilas en los capítulos VII y VIII del tomo III. Ya indicamos allí que son muy contados los casos en que se construyen con H. A. los apoyos de los puentes en arco.

Conviene, en efecto, dar a estos apoyos *monolitismo y peso,* para aumentar así la componente vertical sobre los cimientos y reducir proporcionalmente la inclinación de la resultante determinada por el empuje oblicuo de las bóvedas.

Para conseguirlo, los constructores, como luego veremos, constituyen generalmente las pilas y estribos de H. A. con verdaderos muros en cajón, que rellenan con terraplén u hormigón pobre.

También dijimos al ocuparnos en el tomo primero de los muros de H. A., que la ejecución de sus paredes delgadas resulta muy costosa (de cuatro a ocho veces la de la fábrica ordinaria), porque exige moldes rígidos *por ambos paramentos* y mano de obra difícil para el apisonado del H. A. en los tabiques, y morteros ricos y armaduras.

De poco sirve que se reduzcan los volúmenes si el coste total es mayor.

Así es que, en general, para los puentes de H. A. resultan preferibles los apoyos de mampostería u hormigones pobres, análogos a los que estudiamos para los puentes de fábrica.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Apoyos de fábrica para tramos rectos.—Para tramos rectos o arcos sin empuje, sometidos exclusivamente a reacciones verticales,

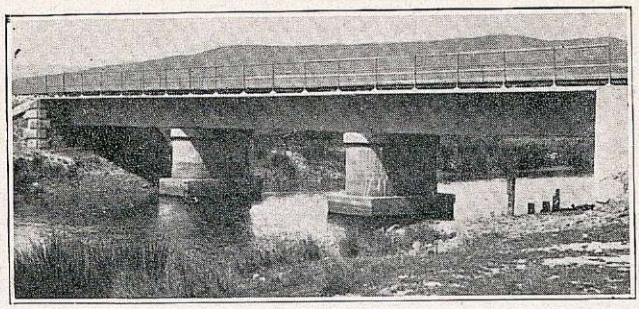


Fig. 216.—Ferrocarril de Ceuta a Tetuán.

las ventajas de los apoyos de fábrica ordinaria son aún más sensibles.

Para alturas inferiores a 8 m., que son las más corrientes, las pilas se construyen con taludes verticales (figs. 216 y 217).

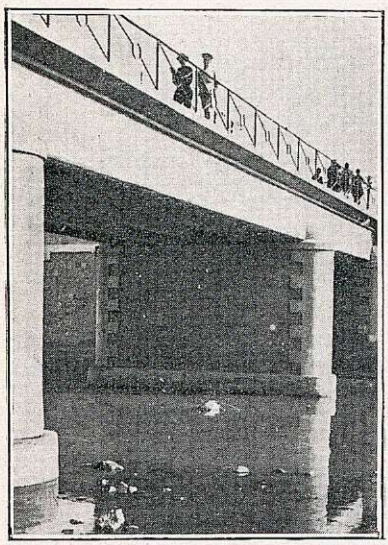


Fig. 217.—Puente del General Marina, en Melilla.

Sus espesores pueden ser los indispensables para el apoyo de los tramos (1).

Respecto al espesor de los estribos, que conviene también ejecutar con taludes verticales, interior y exteriormente, para facilitar su construcción y reducir los cimientos, solemos darles un espesor de 1/3 de su altura, para que puedan resistir el empuje de los terraplenes de acceso, antes de que sobre ellos carguen los tramos del puente.

Sólo cuando la altura de las pilas excede de 8 m. es cuando conviene darles un talud de 1/40 próximamente (fig. 218). A estas pilas, que frecuentemente se ejecutan de hormigón en masa, se añaden tajamares circulares, de igual material, en la forma detallada en el tomo III.

(1) Pueden tomarse de los Modelos oficiales de carreteras y ferrocarriles.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Lo mismo decimos respecto a los muros en ala o en vuelta de los estribos, que se proyectan como en los puentes de fábrica. (Véase capítulo V del tomo I y capítulo VII del tomo III.)

En tramos rectos de una sola vía, para caminos vecinales o para

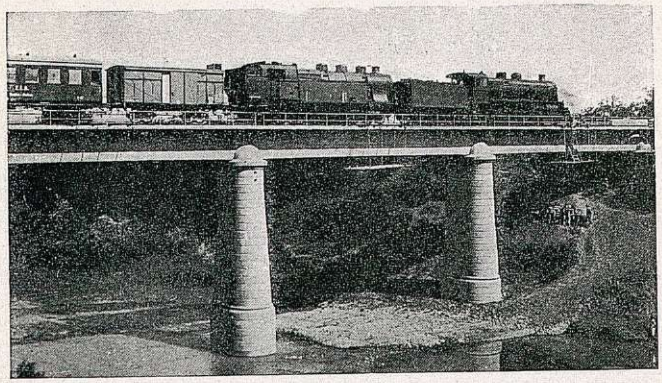


Fig. 218.—Puente sobre el Lucus en Alcazarquivir (Marruecos).

ferrocarril, si la corriente del río es fuerte, y *sobre todo si es oblicua,* conviene substituir los estribos y pilas de tipo corriente por cilindros circulares de mampostería (fig. 219) o tubos de hormigón rico, rellenos con hormigón pobre (figura 220), completando los estribos con aletas en dirección de la corriente oblicua del río.

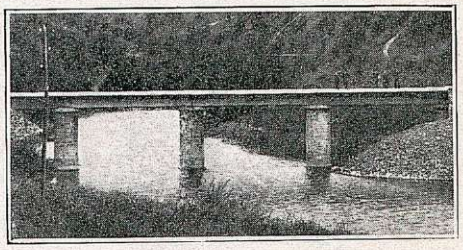


Fig. 219.—Ferrocarril de Vitoria a Malzaga.

Hemos empleado con frecuencia esta disposición (1) utilizando los tubos para los cimientos hincados en el lecho del río por excavación interior con agotamientos; las aletas de estribos se cimientan a menores profundidades que los tubos de los estribos, puesto que

(1) Para los puentes del ferrocarril de 1 m. de Vitoria a Vergara y para el ferrocarril de Tánger a Fez de vía ancha, de 1,50 m. Sólo en una de las aletas de un estribo, tuvimos que recalzar su cimiento, a consecuencia de una crecida extraordinaria.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

son elementos accesorios cuya socavación no entraña la caída de los tramos.

Cuando los puentes son de doble vía, carretera o férrea, pue-

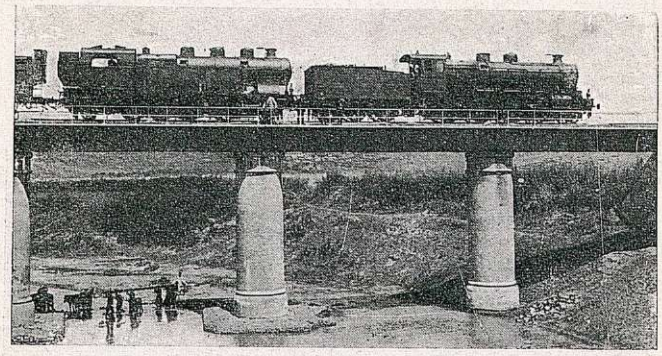


Fig. 220.—Puente sobre el Uarur (Marruecos).

den tambien las pilas constituirse con dos cilindros independientes, unidos en su coronación por una viga maestra, sobre la que se apoyan las

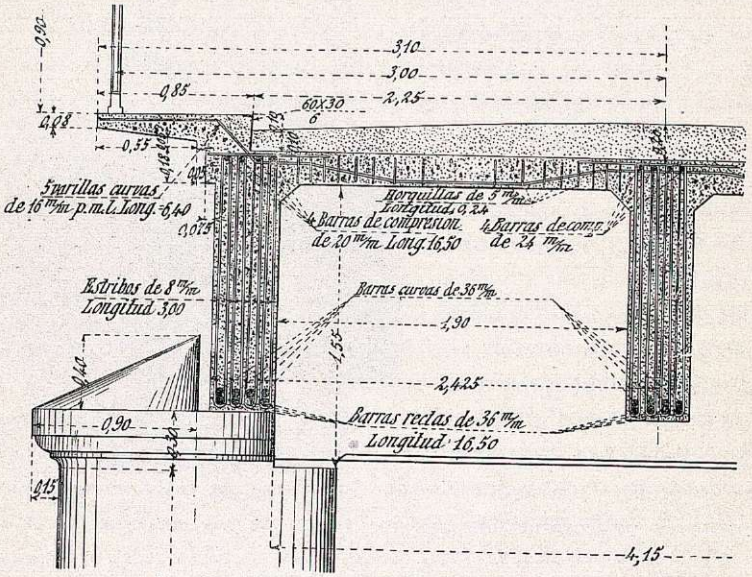


Fig. 221.—Pilas del puente de Carrizo (León)

vigas centrales del tramo. Así lo hemos hecho en las 14 pilas del puente de Carrizo (León) (fig. 221), a que aludimos en el tomo III, página 55.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Claro es que en poblaciones, las pilas y estribos de los tramos rectos deben proyectarse con materiales más escogidos y una ornamentación en armonía con el emplazamiento de la obra.

Palizadas de hormigón armado.—Ocurre, sin embargo, con alguna frecuencia que el coste de los cimientos de estos apoyos de fábrica resulta excesivo y obliga a reducir su número, lo que lleva con-

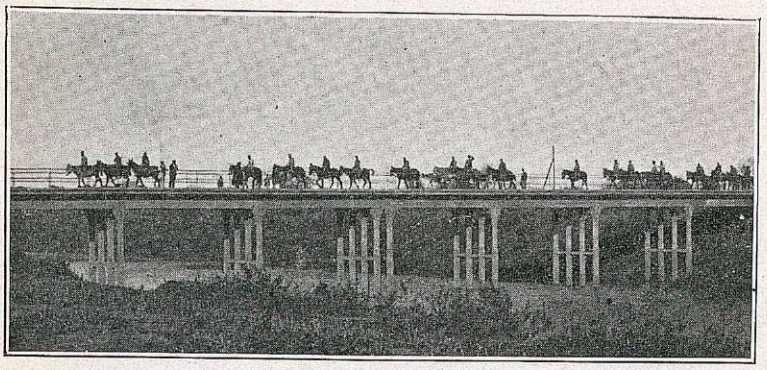


Fig. 222.—Sobre el río Martín (Tetuán). Tramos independiente de nueve metros.

sigo el aumento de las luces y el consiguiente encarecimiento de los tramos.

Debe entonces recurrirse al empleo de palizadas de hormigón armado, de tipo parecido a las de los puentes de madera, que, como son apoyos económicos, permiten a su vez el aumento de número de los tramos y la consiguiente reducción de sus luces. Sobre los pilotes que sirven de cimiento se elevan pilares verticales de igual sección, y sobre éstos se apoyan directamente las vigas de los tramos.

Las disposiciones de estas palizadas son variables.

En puentes de pequeña longitud y tramos que no excedan de 10 m. de luz, las palizadas pueden ser *simples* (figs. 222 y 223).

Sin embargo, se han construído puentes de gran longitud y para tramos rectos de gran luz con palizadas simples.

El puente carretero Itata, en Nipes (Chile) (fig. 224), tiene 600 m. de longitud y tramos de 22,40 m de luz.

Un puente para un ferrocarril minero sobre el Nervión, cerca de Bilbao, tiene tramos de 21 m. (fig. 225).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

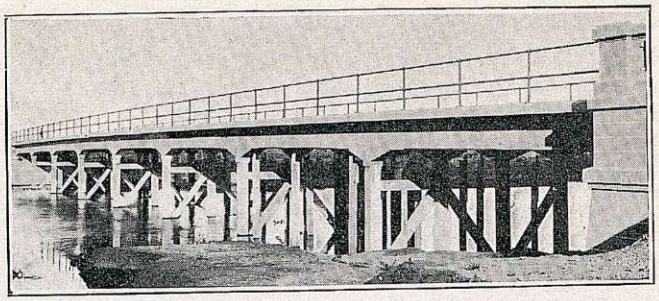


Fig. 223.—Puente de Fraile Muerto (Uruguay).

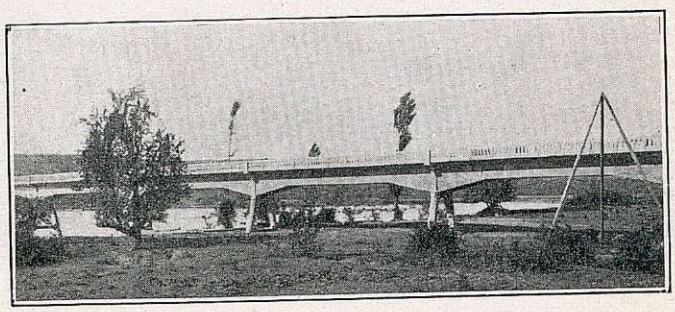


Fig. 224.—Puente Itata, en la estación Nipes (Chile).
600 m. Tramos de 22,40.

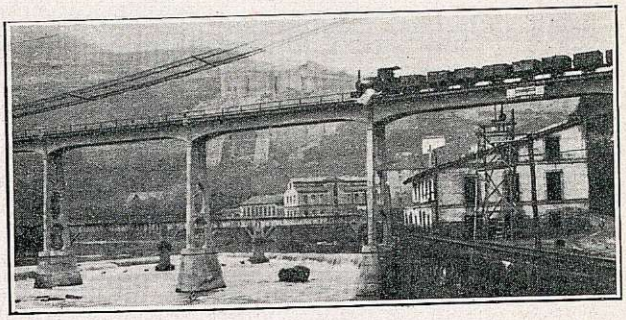


Fig. 225.—Sobre el río Nervión (Bilbao).

Pero la tendencia actual, en España al menos, es de constituir cada pila en palizadas dobles, con lo que se obtiene mayor rigidez transversal.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Así, por ejemplo, en el puente de Salás (1) las palizadas se pusieron a 5 m. de distancia y como sus capiteles vuelan 2,40 m. de

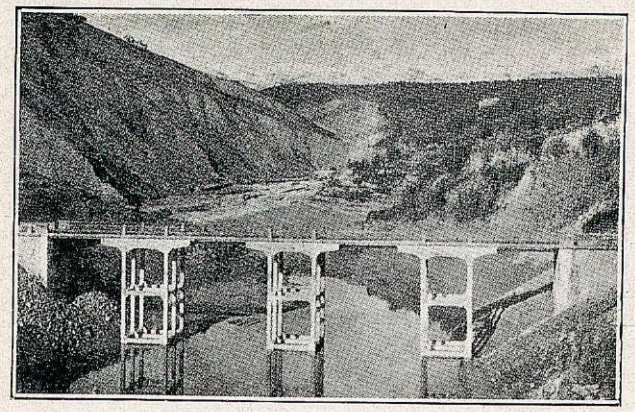


Fig. 226.—Barranco de Salás (Huesca)

cada lado, la luz de los tramos se reduce de 12 a 7,20 m.; las palizadas tienen aquí más importancia que los tramos (fig. 226).

En el puente de García, sobre el río Ciurana (Tarragona), las

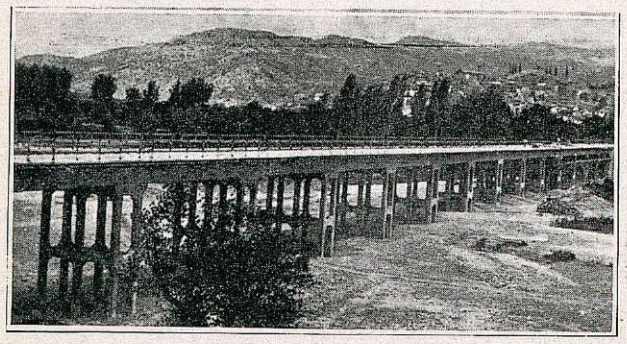


Fig. 227.—Río Ciurana (Tarragona)

palizadas dobles de cada apoyo sólo están a 2 m. de distancia y tiene 15 tramos independientes de 12 m. de longitud y, por lo tanto, de 10 m. de luz (fig. 227).

(1) Construído por la Compañía "Riegos y Fuerzas del Ebro" para salvar el embalse de la presa de Tremp, en la carretera de Balaguer a la frontera francesa (Lérida).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Los pilotes de 35 por 35 cm. se hincaron de 5 a 6 m.

Cuando la corriente del río puede ser violenta y arrastrar cuerpos flotantes, conviene reforzar estas palizadas con pilotes suple-

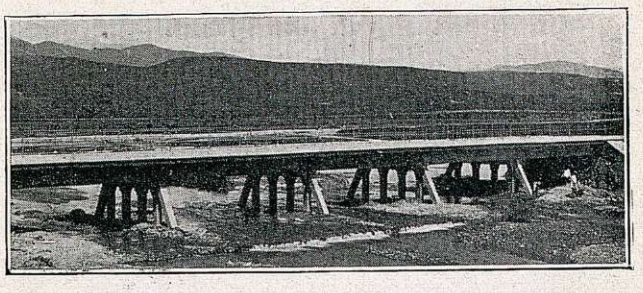


Fig. 228.—De Castillejos (Marruecos).

mentarios, en los que se apoyan *jabalcones* oblicuos, que actúan como tajamares.

Se aplica también esta disposición a las palizadas simples:

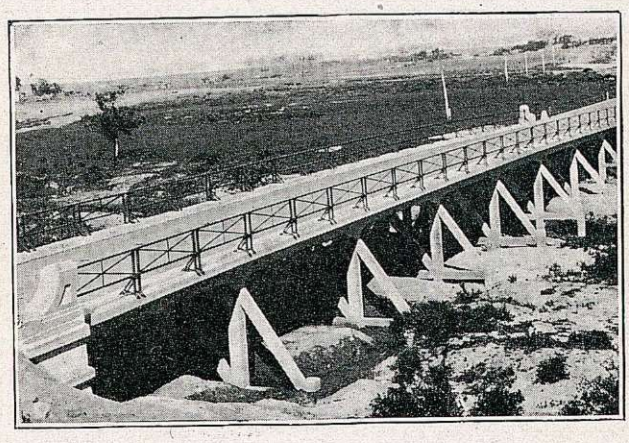


Fig. 229.—Sobre el río Tacuarombo (Uruguay).

puentes de Castillejos (fig. 228), carretera de Ceuta a Tetuán (Marruecos), de Tacuarombo (Uruguay) (fig. 229).

El autor prefiere también las palizadas dobles con tajamares, que ha aplicado en muchos tramos de 14 a 18 m. de luz, en España y Marruecos (figs. 230 a 233).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

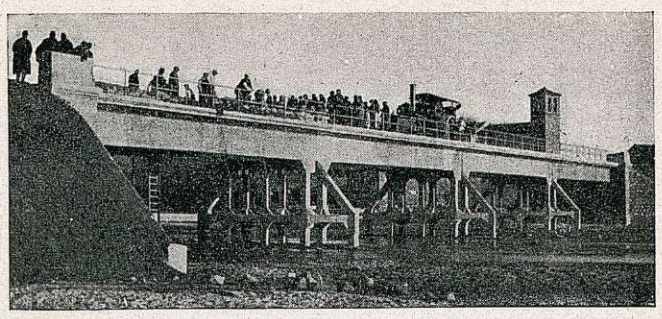
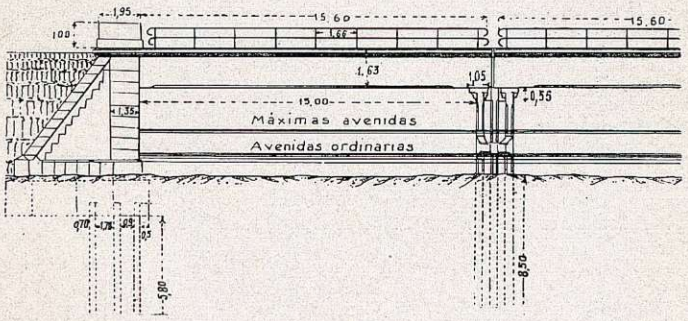


Fig. 230.—Puente sobre el Perales (provincia de Madrid).



g. 231.

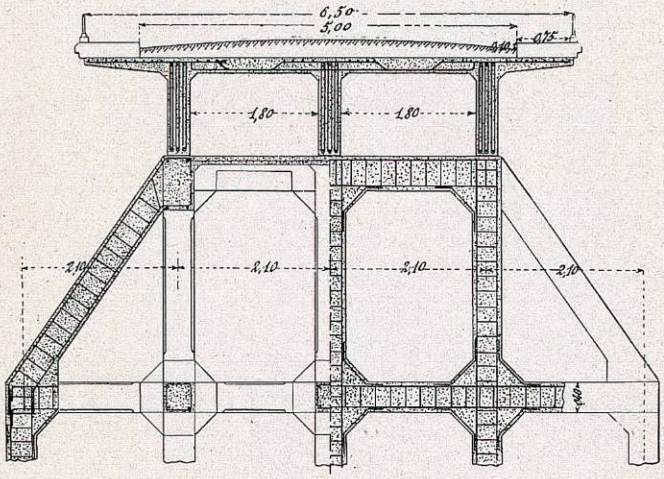


Fig. 232.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Este tipo de palizadas dobles a 1,50 m. de distancia ofrece muy poco obstáculo a la corriente y una grandísima rigidez.

Respecto a los arriostramientos de las palizadas, aunque en Chile y en algunos puentes y viaductos se han dispuesto con diagonales cruzadas (figs. 223 y 229), consideramos suficientes simples riostras horizontales, si bien reforzando su encuentro con los pilares, en la forma detallada en las figuras 232 y 233.

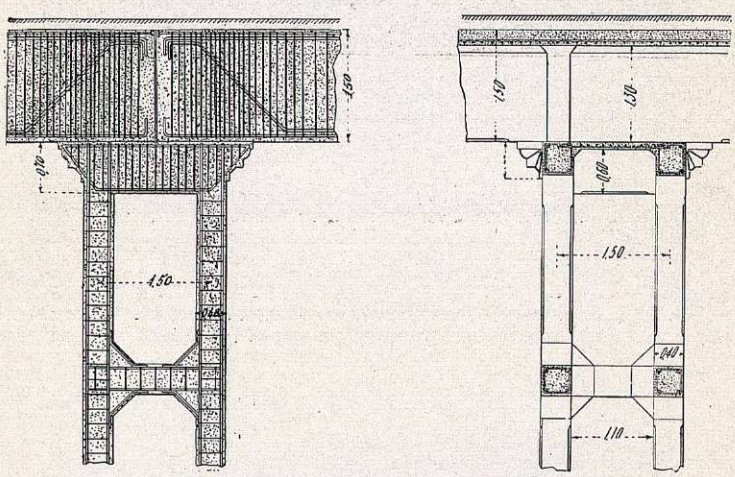


Fig. 233.—Palizadas del puente de Perales.

En palizadas dobles, cuya altura no exceda de 10 m., pueden los pilares ser verticales y con prolongación de los pilotes.

Pero en palizadas simples, sobre todo si no se las pone jabalcones de tajamar, puede convenir darles talud de 1/10 a 1/20, como en las figuras 224 y 225 para resistir a los esfuerzos de choque o del viento. En muchos de estos puentes los estribos de fábrica pudieran substituirse por palizadas simples, envueltas en el terraplén (fig. 234); claro es que en estos casos deben defenderse los conos del terraplén con un revestimiento, en armonía con los niveles y velocidades de las aguas que han de bañarlos.

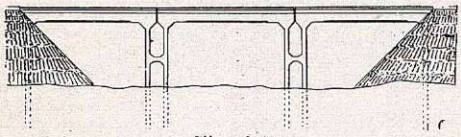


Fig. 234.

En casi todos estos puentes de vigas rectas, los tramos son independientes, y deben forzosamente serlo cuando se apoyan sobre

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

pilares y pilotes de H. A., susceptibles de sufrir un asiento en uno de ellos, por insuficiencia de hinca o por socavación posible.

En estos casos hay que armar y moldear los capiteles de los pilares con entera independencia de los extremos de las vigas (fig. 235); hasta conviene separar con hojas de cinc o de cartón los planos de apoyo y los extremos de las vigas (1).

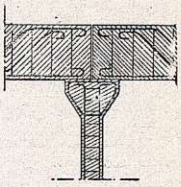


Fig. 235.

Pilares de H. A. en tramos continuos.—Pero cuando se proyectan tramos continuos, se debe por el contrario, entrelazar las barras de pilares y vigas como en la figura 236 y envolverlos simultáneamente con hormigón para que se realice así la hipótesis de empotramiento que sirve de base al cálculo de este tipo de tramos.

A este propósito no está de más recomendar a los ingenieros jóvenes, seducidos por la belleza de la teoría de los pórticos y, por lo tanto, con tendencias a proyectar vigas continuas, que éstas no deben emplearse cuando los apoyos no están completamente empotrados, y, por lo tanto, en palizadas sobre pilotes. Si con la hinca de éstos se alcanza la roca, sus azuches *no se empotran, sino que pivotean* sobre el terreno firme; si se han hincado en terreno de aluvión con un rechazo determinado que les permite resistir verticalmente la carga correspondiente, tampoco se obtiene el *empotramiento completo* que requiere la hipótesis de los pórticos, pues sometidos esos pilotes a esfuerzos horizontales—los de la dilatación de los tramos, por ejemplo— el terreno que los envuelve no suele resistir esos empujes laterales.

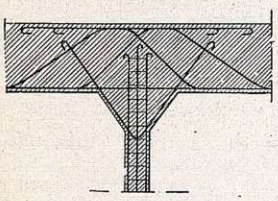


Fig. 236.

(1) Gracias a esta precaución, en los puentes de este tipo, del Mogote y río Smir (cerca de Tetuán), que, entre otros muchos iguales, construímos en Marruecos, pudimos reparar con gran rapidez y economía los asientos de algunas palizadas que llegaron a alcanzar hasta 0,25 m. Los tramos adyacentes bajaron otro tanto, sin agrietarse siquiera. Los apeamos y levantamos con gatos, recrecimos los capiteles a su nueva posición y, una vez éstos endurecidos, descendimos sobre ellos los tramos. Así han quedado desde hace más de quince años; con tramos continuos, las vigas se hubieran roto indefectiblemente.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Secciones y armaduras de pilares.—Cuando los pilares se apoyan sobre pilotes, deben ser de sección cuadrada y constante en toda su altura, para que puedan unirse en su prolongación las armaduras de unos y otros con fuerte alambre o pequeños trozos de tubos.

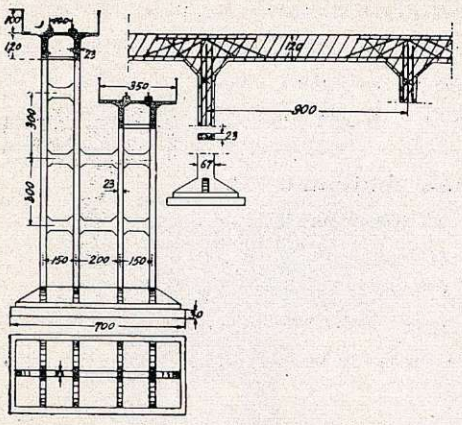


Fig. 237.—En el viaducto del muelle de Cala.

Las secciones más frecuentemente empleadas son de 25 a 40 cm. de lado y se procura que sean iguales al grueso de las vigas que sobre ellos se apoyan.

Si los pilares se apoyan sobre un cimiento o una zapata general, pueden tener sección rectangular. Así lo hizo Zafra en el embarcadero de las minas de Cala, en Sevilla, que apoyó sobre pilares de 23 por 67 centímetros (fig. 237).

Las armaduras de pilares son iguales a las de pilotes, con cuatro o más barras principales unidas con riostras de 5 mm. cada 20 ó 30 cm. de distancia.

Pilas y estribos de hormigón armado.—A pesar de los inconvenientes enumerados al principio de este capítulo, puede haber casos en que convenga construir pilas y estribos de hormigón armado.

En un puente de 12 tramos rectos, sobre el río Guis, en Marruecos, que construímos en cuatro meses en el verano de 1928, para la carretera de Melilla a Villa Sanjurjo, hemos adoptado también pilas ligeramente armadas, por tratarse de un río de gran cuenca y con violentas y súbitas crecidas, en el que nos pareció algo incierto apoyar los tramos de 14 m. sobre palizadas, y no convenía, por otra parte, aumentar el grueso de las pilas más de los 60 cm. que les hemos dado. Se apoya cada una de estas pilas sobre dos cimientos separados y se unen los dos gruesos pilares con un arco ligeramente armado que asegura el monolitismo del conjunto.

Pero hay algunos puentes en los que las pilas y los estribos se han construído con fuertes armaduras.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Citaremos algunos ejemplos.

En la figura 238 se representan los estribos y pilas de un paso superior carretero en las inmediaciones de la estación de Génova (1), para tres tramos rectos continuos, de 18,25 m. de luz libre el central y 17,25 m. los tramos laterales.

Quizá esta continuidad de los tramos y la delgadez de las pilas

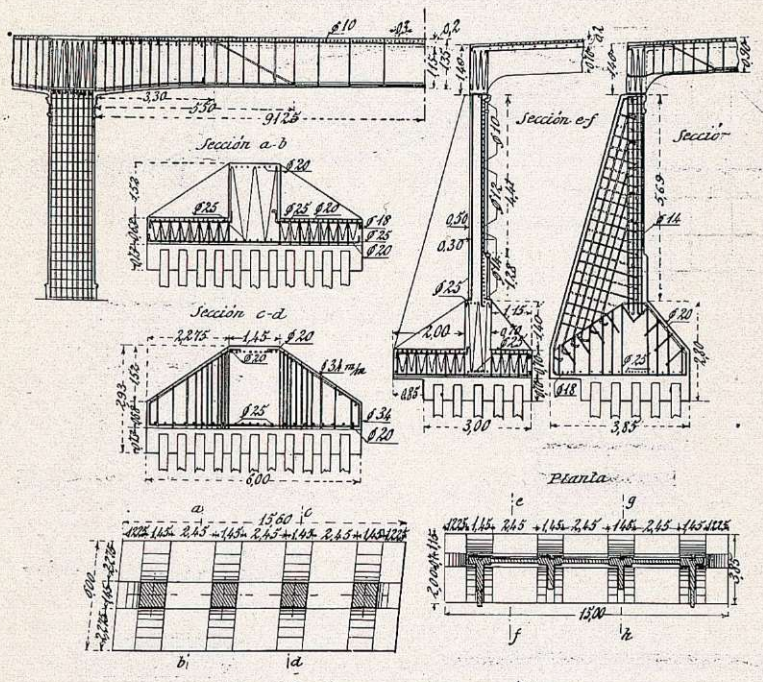


Fig. 238.—Paso superior, en Génova.

(1,45 m.) por imposición de las vías que atraviesa la obra, así como la escasa consistencia del terreno, haya exigido armar todos los apoyos, pero, de no ser así, resultan éstos más caros que pilas y estribos de fábrica ordinaria.

La casa constructora Hennebique es la que ha empleado con más frecuencia la disposición de apoyos de H. A. constituídos por cajones con tabiques verticales en los planos de los nervios de arcos.

En el puente de Imphy (fig. 239) los cajones de estribos se rellenaron con el terraplén; las pilas con hormigón pobre.

(1) Detalles, en *Ponti in cemento armato,* de Santarella. Lámina 4.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En el puente Pasteur, sobre el Ródano, en Lyón (1), los cajones de estribos y pilas, apoyados sobre otros hincados por aire comprimido, tienen seis tabiques verticales en los planos de los arcos (figura 240).

Los compartimientos entre los tabiques se rellenaron con grava en los estribos y únicamente aquéllos en los que venían a anclarse

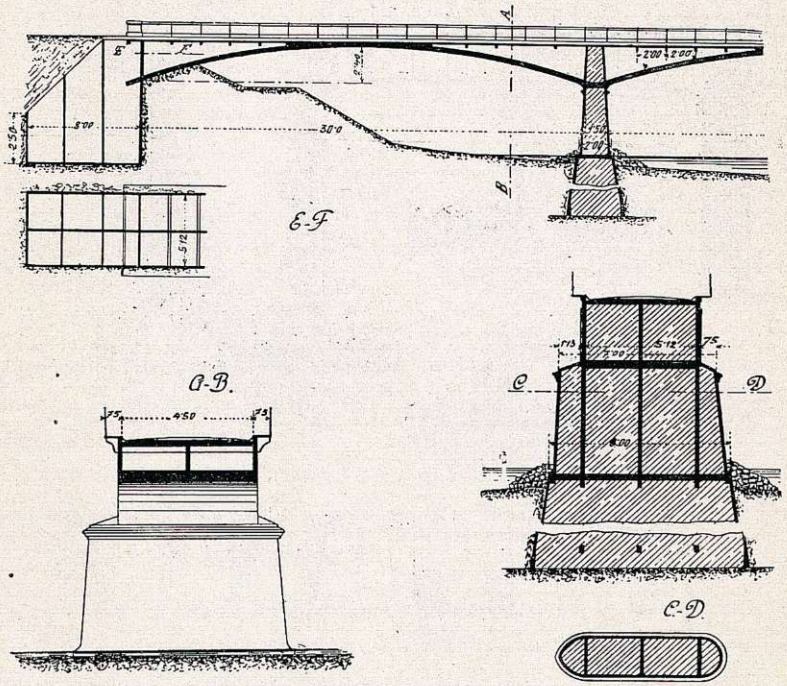


Fig. 239.—Puente sobre el Imphy.

las armaduras de los arcos se macizaron con hormigón de 200 kgs.; en las pilas se rellenaron todos los compartimientos con igual hormigón pobre.

En el puente del Resorgimento, en Roma (tomo II, fig. 268), la cuadrícula de los tabiques de H. A. se apoya sobre los pilonos. Compresol con que se han cimentado.

(1) Puente importante de H. A. sistema Hennebique, terminado en 1923, con 20 m. de anchura, sobre un arco central de 66 m. y 2 arcos laterales de 62 m., descrito en *Génie Civil* de 10 de enero de 1924. Ingeniero: M. Chalumeau.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

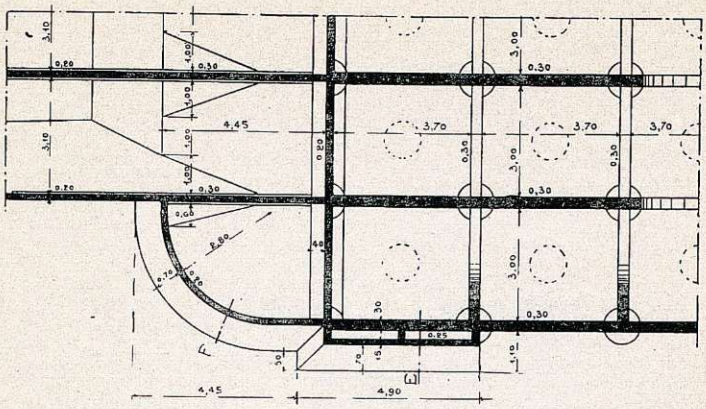


Fig. 240.—Planta de un semiestribo del puente Pasteur (Lyon).

CONCLUSIONES

El escaso número de puentes con estribos y pilas de H. A. demuestra que son excepcionales los casos en que estos pueden convenir.

En cambio, el empleo de palizadas de H. A. se ha generalizado con excelente éxito en todos los países y muy notoriamente en España y América española, por lo que el autor los recomienda, sobre todo en puentes carreteros.

Tratándose de tramos para vías férreas, en los que el peso de las locomotoras y los impactos al paso de los trenes someten los pilares a esfuerzos dinámicos considerables, conviene, cuando el aumento de gasto no es grande, substituir las palizadas por apoyos de fábrica, o por lo menos de gruesos cilindros de H. A.

Para los puentes en arco, preferimos, por todos conceptos, las pilas y estribos de fábrica, tanto más cuanto que la economía que pudiera obtenerse con los cajones de H. A. es más aparente que efectiva.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

SEGUNDA PARTE

OBRAS ESPECIALES

CAPÍTULO **VIII.—Viaductos.**
CAPÍTULO **IX.—Acueductos.**
CAPÍTULO **X.—Sifones de hormigón armado.**
CAPÍTULO **XI.—Puentes oblicuos, en curva y en rampa.**
CAPÍTULO **XII.—Ensanches, accesos y transformación de puentes.**
CAPÍTULO **XIII.—Decoración.**
CAPÍLULO **XIV.—Resultantes de mi experiencia.**

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

CAPITULO VIII

VIADUCTOS

§ I.—**Consideraciones generales.**

Definiciones.—Necesidad de los viaductos.—Su clasificación: por su emplazamiento o por sus rasantes.—Importancia de los gastos de tracción que ahorran.—Solución óptima financiera.

§ II.—**Viaductos de fábrica.**

Historia.—Tipos franceses (Fontpedrouze).—Tipos españoles.—Aplicación de nuestros modelos oficiales.—Pilas.—Viaductos suizos.

§ III.—**Viaductos de hormigón armado.**

Con tramos rectos: ejemplos de Petrópolis (Brasil), Tricanco (Chile) y Tirso (Cerdeña).—*Con arcos*: ejemplos de Serra (Italia), Grandfrey (Suiza) y Teruel.—*Con arcos y tramos rectos*: ejemplos de Barranco Hondo y Galcerán (Tenerife); del ferrocarril de Alicante a Alcoy; de la villa de Alcoy y del río Chiusella (Italia).

§ IV.—**Pasos superiores y pasarelas.**

Pasos superiores.—Pasarelas.

§ V.—**Conclusiones.**

Menores luces que para los puentes.—Economía en las cimbras.—Distribución de luces.—Elección de materiales.—Elección de tipos.—Ni decoración ni grandes arcos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

§ I.—CONSIDERACIONES GENERALES

Definiciones.—Clasificamos con el nombre de *viaductos* aquellas obras que atraviesan valles o simas del terreno, en cuyas vaguadas *no corren* ríos de carácter permanente.

Cuando los puentes sobre ríos tienen rasantes de altura muy superior a las necesidades de desagüe, deben designarse con el nombre de *puentes-viaductos.*

A pesar de ello, hay muchos puentes-viaductos y hasta verdaderos viaductos que continúan llamándose impropiamente *puentes.*

Si el viaducto se destina a canal, se denomina *acueducto;* a estas obras especiales para pasos de agua destinaremos el capítulo siguiente.

En éste sólo nos ocuparemos de los viaductos para carreteras y ferrocarriles.

Hay, sin embargo, ciertos viaductos que se construyen para pasar por encima de otras vías, que se llaman *pasos superiores;* dedicaremos a estas obras, que cada día son más frecuentes, el § IV, y en éste incluiremos también las *pasarelas,* que son viaductos ligeros, exclusivamente dedicados al paso de peatones.

Necesidad de los viaductos.—Aunque en el capítulo IV del tomo III ya indicamos la conveniencia de muchos viaductos, así como la inutilidad de algunos otros, ampliaremos aquellas consideraciones.

Muchos viaductos se construyen para evitar los descensos al fondo de valles profundos que obligan después a subir otro tanto por la ladera opuesta.

Es frecuente que el aumento de recorrido de estas bajadas y subidas exija largos desarrollos de una carretera, cuyo aumento de gastos sea igual o inferior al del coste del propio viaducto; esta razón económica basta para justificar un viaducto.

Cuando en poblaciones existen barrios situados sobre laderas opuestas conviene también construir viaductos que comuniquen rápida y cómodamente las zonas altas de la villa (1).

(1) En este mismo capítulo describiremos los viaductos de Alcoy, Teruel y Galcerán (Santa Cruz de Tenerife), que son de este tipo.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Pero es, sobre todo en ferrocarriles, donde los viaductos son indispensables, no sólo para atravesar grandes valles cuando éstos son normales a la dirección general del trazado, sino cuando en una ladera la vía cruza barrancadas profundas, que los radios mínimos admitidos para las curvas no consienten contornear; es una solución inversa a la de los túneles, con los que hay que atravesar los salientes de laderas porque las curvas mínimas producirían trincheras de excesiva altura.

Claro es que si en las inmediaciones de aquellas barrancadas existieran productos sobrantes de desmonte o préstamos económicos, y *cuando la altura de la rasante no exceda de unos 20 m.*, podría suprimirse el viaducto, substituyéndolo con un terraplén y limitando la obra de fábrica a lo que exija el indispensable desagüe para las lluvias que afluyan a la vaguada (1).

Empero, a pesar de algunos excesos análogos que un concienzudo estudio evitará—pues que estas obras son siempre costosas—, se cuentan por millares los viaductos de ferrocarriles, y en esta época en España se aproximan a un centenar los que necesitan las vías férreas en período de construcción.

Su clasificación: por su emplazamiento o por sus rasantes.—Hay, pues, en definitiva dos tipos de viaductos:

a) Aquellos en que su emplazamiento y rasante están obligados por el trazado de la vía; *el problema es entonces esencialmente técnico,* aunque dentro de las soluciones posibles deba elegirse la de menor coste.

b) Aquellos en que el ingeniero ha de elegir, *no sólo el emplazamiento, sino la rasante, coordinando ambos factores con los trazados de acceso y de salida al viaducto.*

Además de la técnica para resolver estos proyectos parciales, el problema se complica por la intervención de otro factor: *el financiero,* que puede influir y hasta imponer la solución óptima, cuando se disponga, por supuesto, de medios económicos para realizarla.

---

(1) Ya citamos a este propósito, en el tomo III, pág. 103, algunos viaductos innecesarios que se han construído y algunos otros que después de utilizados muchos años se han substituído por terraplenes.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Importancia de los gastos de tracción que ahorran.—En efecto: ya indicamos en el tomo III, páginas 42 y 79, pero debemos insistir aquí, que en el estudio comparativo de las diferentes soluciones de un viaducto de tipo *b)*, no sólo deben compararse *los gastos de construcción* de cada una de ellas, sino *los gastos anuales y permanentes de su conservación y, sobre todo, de los gastos de tracción y explotación que ahorrarán.*

El consumo de energía, ya sea animal, ya en petróleo, carbón o en kilowatios, será tanto menor cuanto más se reduzcan los desniveles y las longitudes de los accesos a los viaductos y las milésimas de sus rasantes.

Solución óptima financiera.—Deberán, pues, sumarse en cada solución a los gastos de construcción de los viaductos y sus accesos, *la capitalización* (al interés que cueste el dinero adelantado) de:

1.° Los gastos de conservación de todas las obras, vías y pavimentos.

2.° Los gastos de tracción y explotación que ocasionará el tráfico medio que se calcule pueda tener el nuevo trozo de vía.

La comparación de todos estos sumandos *para cada solución de rasante,* es la que permitirá obtener la *solución óptima desde el punto de vista financiero.*

§ II.—VIADUCTOS DE FABRICA

Historia.—Los romanos, tan grandiosos y atrevidos en sus acueductos, no construyeron viaductos para sus vías, prefiriendo bajar con ellas hasta las márgenes de los ríos, para reducir así la altura de sus puentes.

Tampoco conocemos viaductos de la Edad Media, ni del Renacimiento.

En España, en el siglo XVII se construyó el viaducto de Ronda (figura 241), mazacote y feo, que más parece una presa que un puente, y que podía haber salvado el tajo de aquel barranco con un ligero arco de unos 40 m. en lugar de un arco de 14 m. de luz y 130 m. de altura, con la tercera parte de su coste.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Pero la construcción de los ferrocarriles, iniciada en la segunda mitad del siglo XIX, exigió numerosos viaductos.

En España algunos de éstos se ejecutaron de fábrica con la mayor sencillez (fig. 242), pero en la mayor parte de los casos se prefirieron viaductos enteramente metálicos, o por lo menos en su mayor longitud (fig. 243).

En Francia, país de abundantes canteras con piedra de fácil labra, se generalizaron los grandes viaductos de fábrica en todas sus vías férreas.

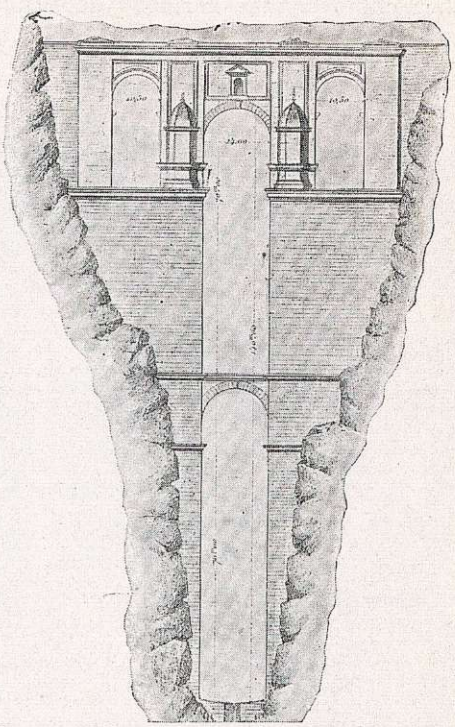


Fig. 241.—Viaducto en Ronda.

Tipos franceses. — Principiaron allí imitando las disposiciones de los acueductos romanos, con arcos de medio punto de 10 a 15 metros y arcadas de arriostramiento entre las pilas, como en Chaumonte y Morlaix (figs. 244 y 245), pero pronto aumentaron los vanos de las bóvedas a 20 y 25 m. de luz y se suprimieron por innecesarios los arcos inferiores, como en los viaductos de l'Aulne

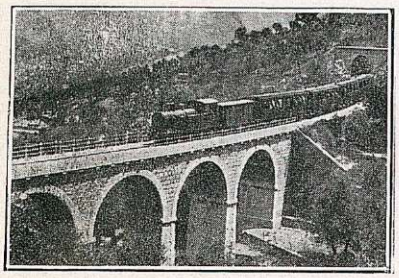


Fig. 242.—En Mallorca.

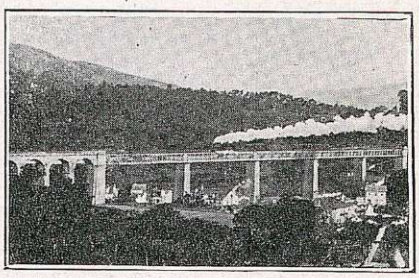


Fig. 243.—En Redondela (Pontevedra).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

(figura 246), y el mayor de todos de la Creuize (fig. 247) con arcos de 25 m. y pilas que alcanzan a 63 m. de altura, que el autor considera de aspecto elefantiásico (1), aunque Sejourné lo califica como el más hermoso de Francia.

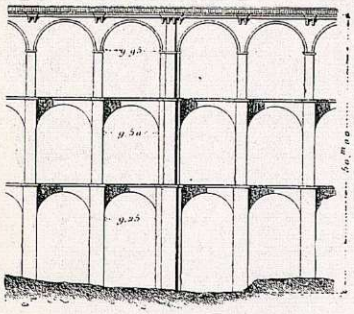


Fig. 244.—Chaumont.

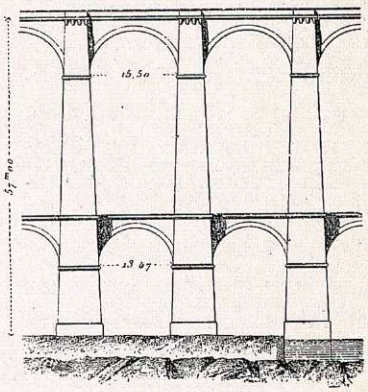


Fig. 245.—Morlaix

Pero aun estos últimos viaductos resultan muy costosos para nuestra época de crisis económica.

Tienen sus pilas contrafuertes, a veces inútiles, siempre costosos, y en algunos de ellos se pusieron elegantes pretiles de sillería, fábricas escogidas y ornamentación cara (véanse detalles del viaducto del Aulne, tomo III, pág. 138).

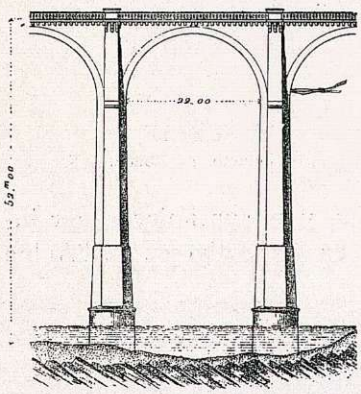


Fig. 246.—Sobre l'Aulne.

En muchos se han intercalado pilas-estribos, que tampoco son necesarias, según ya dijimos en el tomo III, página 136.

Sus tímpanos se han paramentado en talud y hasta con generatrices parabólicas, para evitar el supuesto efecto visual de desplome.

Asimismo en algunos viaductos de gran altura se han afinado los taludes de sus pilas, perfilando sus taludes en curvas parabólicas

(1) Pueden verse más detalles sobre esta clase de viaductos de fábrica para ferrocarriles, en el libro de Sejourné *Grandes Voutes,* tomo VI, libro II.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de segundo y tercer grado y hasta logarítmicas. A pesar de que sus luces no exceden de 25 m., con alguna frecunecia se han aligerado interiormente los tímpanos y hasta los estribos con disposiciones análogas a las de los puentes de fábrica estudiados en el tomo III, cuyo

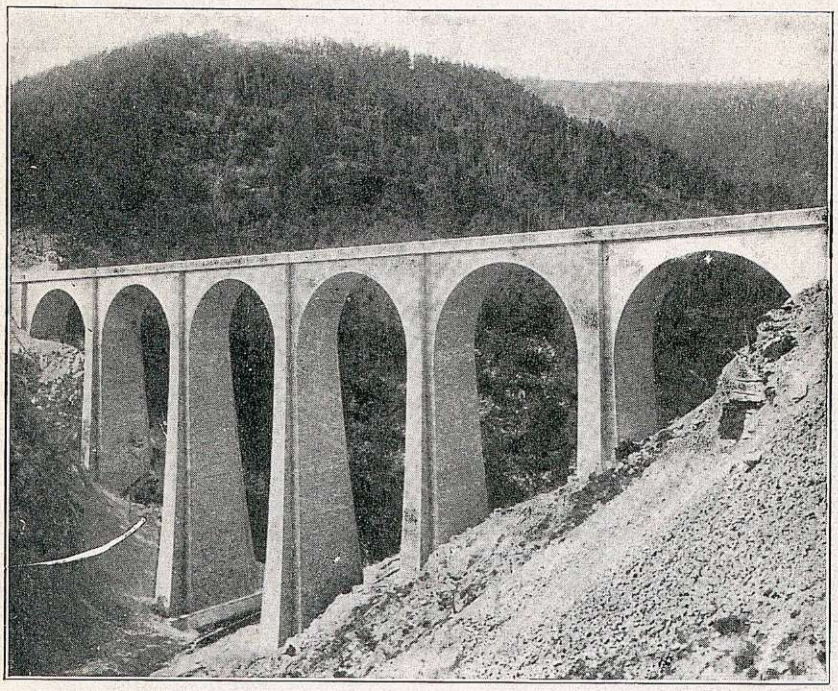


Fig. 247.—Viaducto de Creuize.

aumento de mano de obra excede casi siempre de la economía de material (1).

Por último, y es, a nuestro juicio, su primordial defecto, las anchuras de sus bóvedas—comprendidas entre 4,50 y 5 m. para simple vía y 8 m. para doble vía—son excesivas, ya que sólo tienen que resistir vía de 1,50 m. con anchura de balasto de unos 3,70 m. Pueden y deben reducirse las bóvedas y apoyos en la forma que preconizamos en nuestro tomo I (pág. 160) para muros y pequeñas obras,

(1) Sejourné. *Grandes Voutes,* tomo VI, pág. 62 y siguientes.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

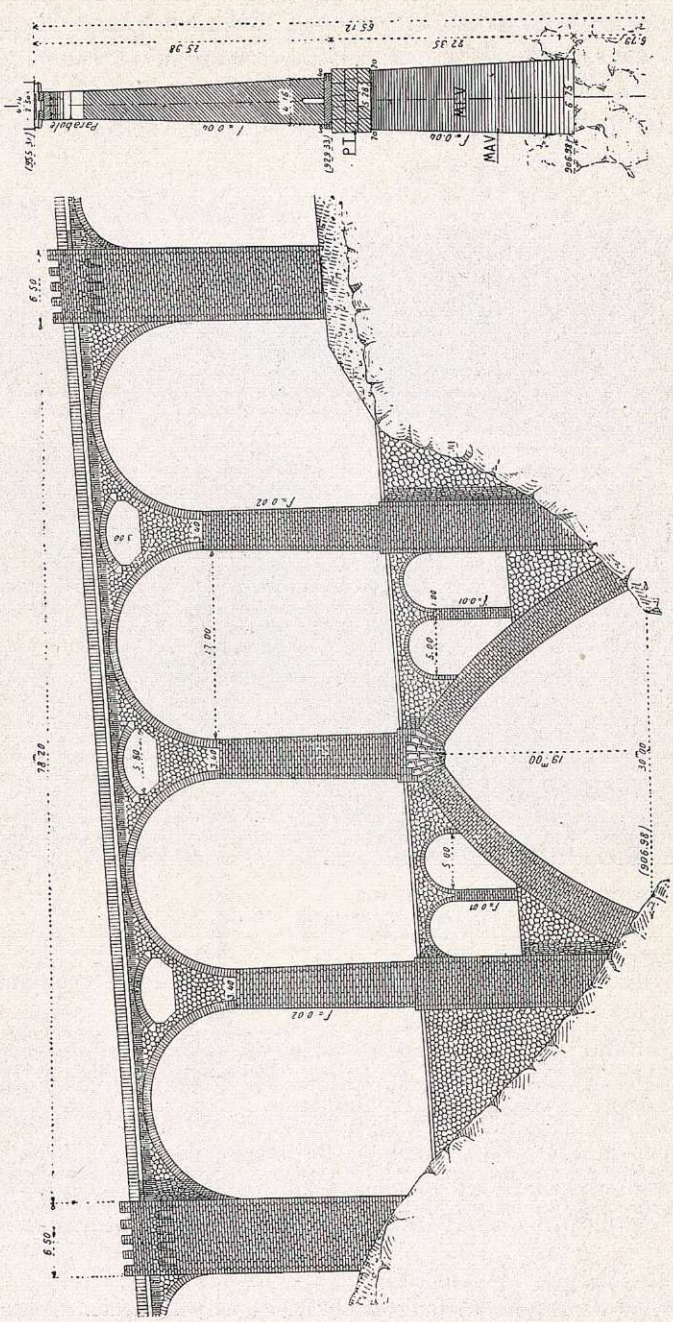


Fig. 248.—Viaducto de Fontpedrouze.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

obteniendo la anchura de la plataforma para el paso del personal de la vía mediante forjados de H. A. en voladizo. Se ahorran así considerables volúmenes de bóveda, pilas y cimientos, sobre todo en viaductos de gran altura.

Tan inútil aumento de gasto de los clásicos viaductos franceses no pasó desapercibido a nuestro ilustre colega M. Sejourné.

Viaducto de Fontpedrouse (fig. 248).—Así es que en esta obra, destinada al ferrocarril de vía estrecha entre Villefranche y Bourg Madame, no vaciló Sejourné en proyectar sus bóvedas con un ancho de 2,50 m. (para vía de 1,00 m.), completando la distancia de 4,14 m. entre barandillas con ensanches de H. A. que vuelan 0,82 m. sobre cada lado de los paramentos (1).

Con tan racional disposición—por primera vez empleada en Francia—se consiguió una disminución sensible de las fábricas. Mayor hubiera sido, a juicio del autor—incorregible, como se ve, en su monomanía económica—, suprimiendo el arco ojival y la pila que sobre su clave descansa, ya que con menor coste pudieran substituirse los cuatro tramos centrales de 17 m. de luz, por tres tramos de unos 24 m. Verdad es que entonces sacrificaríamos la originalidad del viaducto, transformándolo en una obra más vulgar.

Fig. 249.—F. C. de Vitoria-Estella.

Pero obsérvese que en este caso, como en la mayor parte de los viaductos franceses de fines del siglo pasado, aunque de buen gusto y refinadas proporciones, suelen estar construídos en parajes abruptos, sin punto de vista para que los viajeros puedan admirarlos. En estos tiempos de retracción económica, el autor considera lesivo todo gasto suntuario en construcciones exclusivamente industriales, como son los viaductos.

(1) Detalles de este viaducto, en *Grandes Voutes,* tomo V, pág. 87.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tipos españoles.—En España nuestra Administración, más parsimoniosa, obliga a sus ingenieros a perseguir la máxima economía a igualdad de resistencia y duración (figs. 249 y 250).

El primero es el tipo proyectado por el ingeniero D. Alejandro Mendizábal para varios viaductos del ferrocarril de Vitoria a Estella.

El viaducto del Pangua (fig. 250).—En el km. 422 de la línea de Madrid a Irún, cerca de Pancorbo, substituye a un tramo metálico de 50 m. y seis arcos de 10 m. (tres en cada uno de los dos muros de acompañamiento).

Se han construído nueve arcos de hormigón, todos de 10 m., que

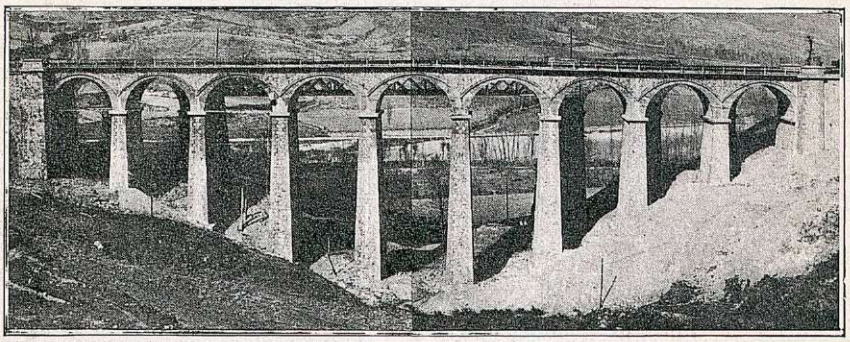


Fig. 250.

resultó la solución más económica entre muchas tanteadas hasta luces de 25 m., aun para alturas de rasante *que llegan a 28 m.*

Las bóvedas son de 7 m. de ancho para doble vía, con voladizos de H. A. para los andenes; los espesores de las bóvedas de 0,80 m. en la clave y 1,50 m. en arranques; los tímpanos son macizos.

El importe de las obras fué de 450.000 pesetas (1).

Aplicación de nuestros modelos oficiales.—Cuando no haya piedra buena y barata puede aun afinarse más aplicando los modelos oficiales para arcos rebajados a 1/2 para ferrocarriles, descritos en el capítulo III.

(1) Detalles, en la *Revista de Obras Públicas,* año 1929, pág. 388, por D. J. Goitia.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Por de pronto, la anchura de los arcos de hormigón en masa se ha reducido a un mínimo. Además, los tabiques y tableros de H. A., que constituyen sus tímpanos, son ligeros y contribuyen a la rigidez del arco y de la plataforma.

Como están estudiados los arcos de 10 a 25 m., pueden rápidamente compararse los importes de las varias distribuciones posibles, siendo fácil calcular el coste aproximado de las pilas correspondientes.

Pilas.—Completaremos lo dicho sobre esto en el tomo III, página 127.

Para espesor en los arranques puede aplicarse la fórmula de Sejourné, para fábricas con mortero de cal:

$$e = 0{,}10\ L + 0{,}04\ A \quad (1).$$

pues no resultan espesores excesivos, aunque las pilas, como debe siempre hacerse, se ejecuten con morteros de cemento. Se beneficiará en reducción de sus taludes.

Respecto a estos taludes, cuando las rasantes no excedan de 35 m. de altura, suelen ser suficientes darles en alzado 1/50 y transversalmente de 1/25 a 1/40.

Para alturas mayores pueden establecerse retallos o ir aumentando los taludes por pisos, con arreglo a lo que pidan las curvas de presiones. Apenas si la vista percibirá esas insignificantes diferencias de inclinación.

En cuanto a las fábricas que deben adoptarse en estas pilas, así como en los estribos, consideramos suficientes las mamposterías ordinarias o el hormigón ciclópeo, si no hubiese buenos mampuestos.

El autor considera excesiva la preocupación de algunos ingenieros que, persiguiendo la igualdad de presiones en toda la altura de una pila, la ensanchan con el perfil logarítmico, que teóricamente permite cumplir aquella condición. Parécenos mejor dosificar los morteros de cemento en proporción a los trabajos máximos en cada zona, que aumentar con exceso los espesores, lo que es caro y feo.

En el capítulo XI nos ocuparemos especialmente de las pilas de los viaductos en curva o en rampa.

---

(1) En la que L es la luz y A la altura del carril sobre el terreno. Sejourné. *Grandes Voutes,* tomo VI, pág. 56,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

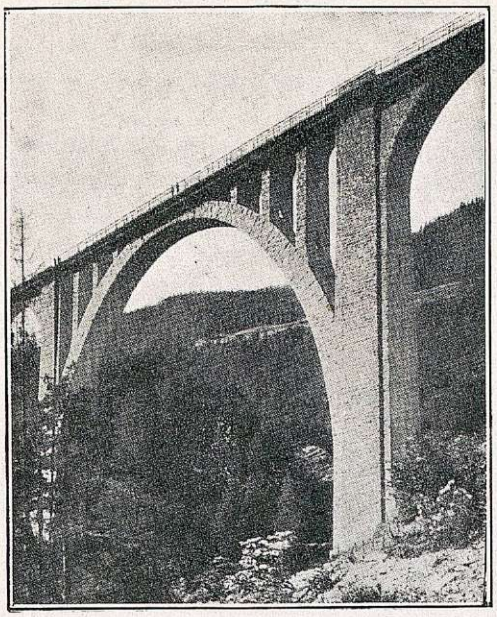


Fig. 251.—Viaducto de Wiessen.

Viaductos suizos.—También en Suiza se han construído un gran número de viaductos de piedra, con las posibles economías de las fábricas y gran austeridad de decoración.

En un gran número de ellos se han realizado (fig. 251, descrito en el tomo III, pág. 232) con una gran bóveda que salve el barranco central, con sus tímpanos aligerados, con dos pilas estribos, a partir de los que comienzan por uno y otro lado viaductos con arcos de menor luz.

En todos los viaductos de fábrica que acabamos de examinar son aplicables cuanto hemos dicho sobre bóvedas, tímpanos, estribos y pilas en nuestro tomo III.

§ III.—VIADUCTOS DE HORMIGON ARMADO

Con tramos rectos.—Con los mismos tipos de tramos rectos que hemos estudiado en el capítulo I pueden construirse viaductos apoyados sobre pilas de fábrica o palizadas de H. A.

Como sus cimientos serán más fáciles, pueden reducirse en proporción las luces de los tramos.

Pero, además, tratándose de viaductos, *cuyos apoyos no suelen correr peligro de socavaciones,* pueden también adoptarse disposiciones parecidas a los viaductos de madera con que durante muchos años los ferrocarriles americanos circularon sobre profundos valles.

Por rapidez de ejecución y economía de primer establecimiento, yanquis y canadienses aprovecharon sus bosques de madera para

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

levantar colosales viaductos hasta los 70 m. de altura, con disposiciones parecidas a las representadas en las figuras 252 y 253, algu-

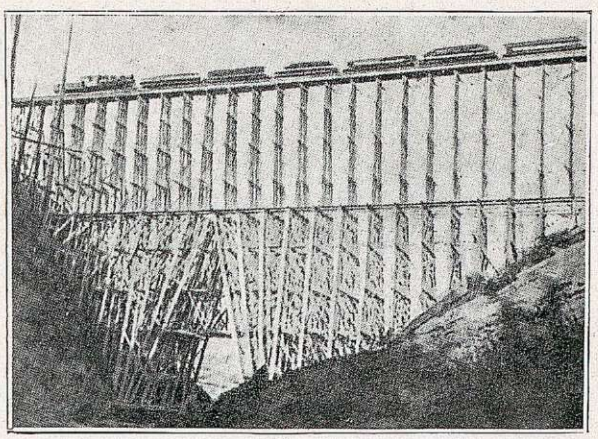


Fig. 252.—Viaducto canadiense de madera.

nos de ellos con doble vía, que, claro es, fueron sucesivamente substituyéndose con pilas y tramos metálicos (1).

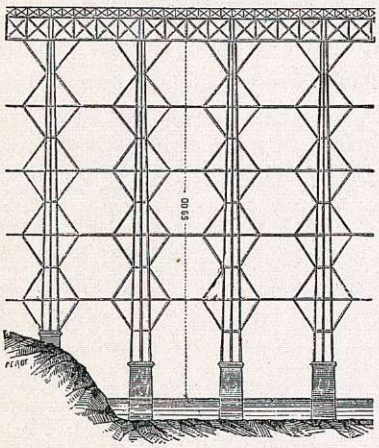


Fig. 253.—Viaducto de madera.

Con el hormigón armado se han imitado, primero, los puentes de piedra: después, los arcos y tramos de acero; de igual modo podremos copiar los entramados de madera, con las evidentes ventajas de su duración indefinida y de la mayor exactitud del cálculo de sus estructuras.

No hay, pues, motivo para desperdiciar esta beneficiosa aplicación del nuevo material, que puede extenderse a muy numerosos viaductos.

Citaremos los ejemplos más característicos.

(1) Pueden verse algunos ejemplos más en el *Curso de construcción de puentes,* de Croizette-Desnoyen, tomo II, pág. 292.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

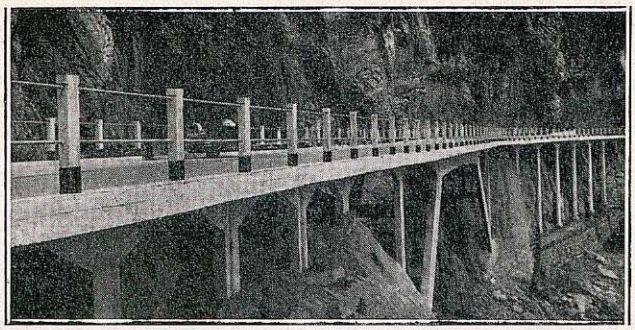


Fig. 254.—Carretera de Río Janeiro a Petrópolis.

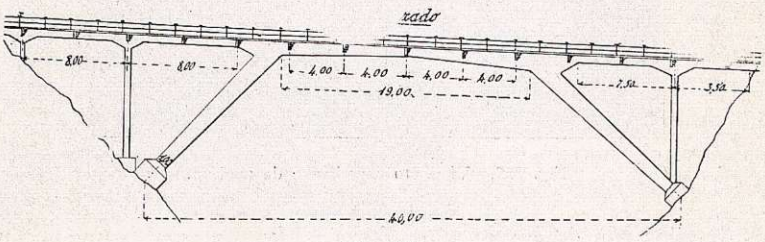


Fig. 255.

Viaducto de Petrópolis (Brasil).—La carretera de Río Janeiro a Petrópolis encuentra en su parte alta un escarpado e irregular cantil de roca, con una profunda depresión, que salva con un tramo recto de 40 m. de luz (figs. 254 a 255 bis).

Es una reproducción de los tramos de madera, con sopandas y jabalcones, que gracias al H. A. permite salvar luces de aquella magnitud.

Este tramo central se prolonga en viaducto, por ambos lados, con tramos cortos de 8 m. adosados a la peña, si bien en estas partes quizá hubiera sido más económico unos muros de mampostería (1).

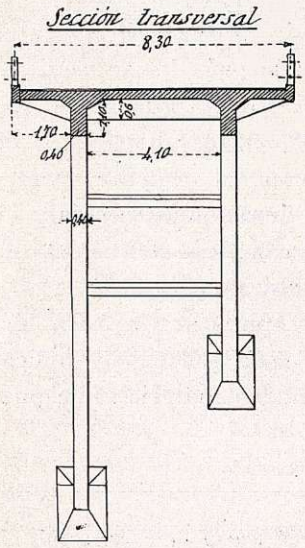


Fig. 255 bis.

(1) Datos que en Río Janeiro me fueron galantemente facilitados por los Ingenieros de Obras públicas de aquella hermosa capital.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Viaducto Tricanco (Chile).—Para el ferrocarril de Pua a Tradiguen se han construído viaductos del tipo de la figura 256.

Las palizadas son ligeras y están trianguladas dos a dos en todos sentidos con cruces en San Andrés muy delgadas. Como dijimos anteriormente, consideramos preferible y suficiente en es-

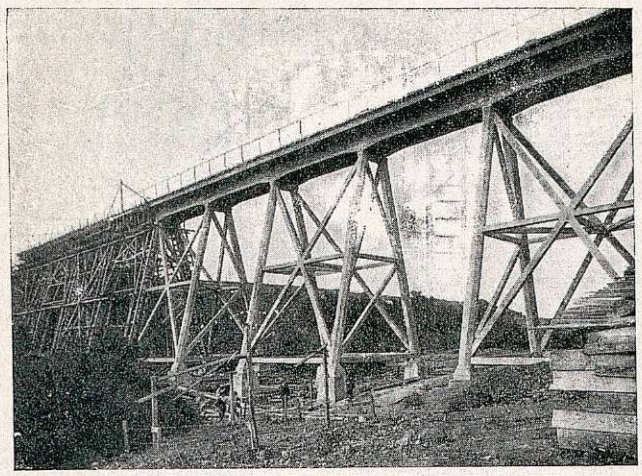


Fig. 256.—Viaducto Tricanco (Chile).

tos casos fuertes riostras horizontales empalmadas sólidamente a los pilares por medio de cartabones armados, como los descritos en el capítulo anterior (figs. 232 y 233).

Viaducto de Tirso, en Tadasuni (Cerdeña).—Para una carretera situada aguas abajo de la importante presa del Tirso (figura 257).

La altura de sus mayores palizadas alcanza a 48 m.

Los tableros rectos son continuos en tres grupos de 94 m. de longitud, divididos en 7 tramos cada uno.

Las palizadas 8.ª y 15.ª son dobles, y llevan rótulas y juntas de dilatación para facilitar los movimientos de la estructura (1).

Pudieron haberse substituído las cruces de San Andrés, que

(1) Detalles y fotografías, en *Beton U. Eisen,* 1924, pág. 325. Proyecto del ingeniero Luzzati.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

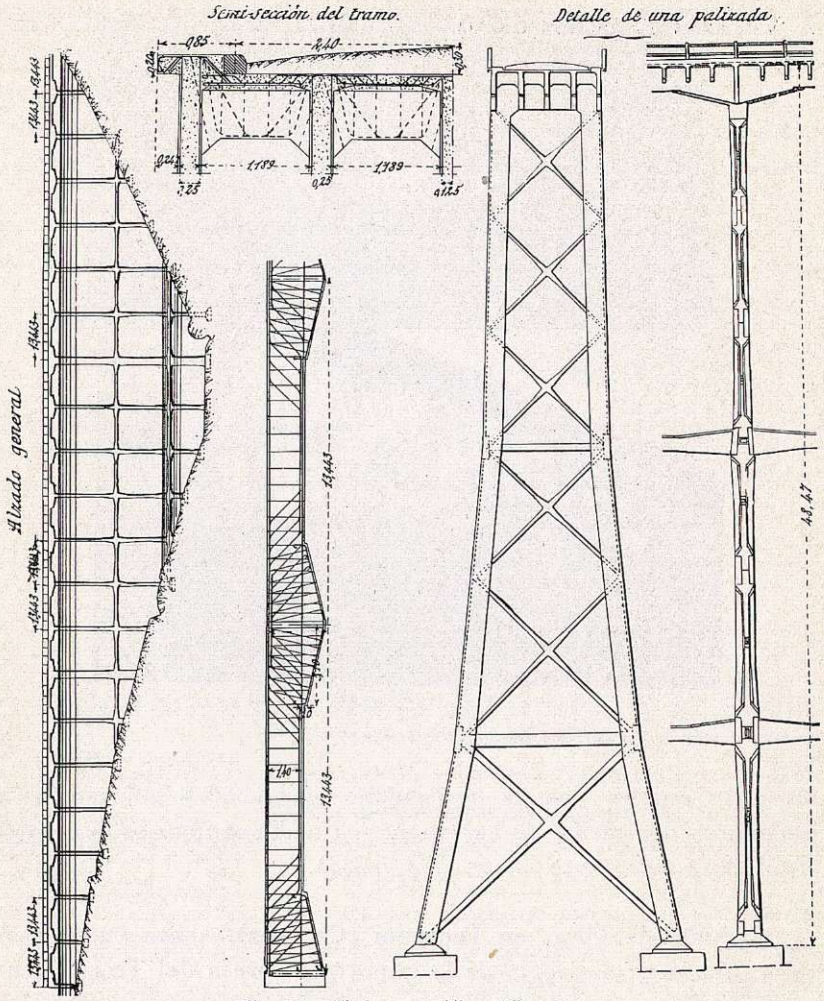


Fig. 247.—Viaducto de Tirso (Cerdeña).

arriostran los pilares, por simples riostras horizontales, fuertemente enlazadas a los pilares.

Es una disposición que puede perfectamente aplicarse en viaductos de ferrocarril, si bien exige un cálculo racional y una excelente ejecución.

Con arcos.—Se aplican a los viaductos iguales disposiciones de arcos de H. A. que para los puentes, con la ventaja de que he-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

mos hecho mérito, de que pueden reducirse las luces de los tramos, por la mayor economía que suelen tener los cimientos en los terrenos en que se emplazan los viaductos.

Claro es que en estos viaductos conviene emplear arcos de gran flecha, para reducir la oblicuidad de los empujes en las pilas. Son, en general, de medio punto; pero puede aumentarse aun más la flecha peraltando sus directrices.

A medida que el número de arcos se repite más, el coste de cimbras y mano de obra disminuye.

En los arcos de viaductos no son tan evidentes las ventajas de las armaduras rígidas, como hemos significado en los de puentes, ya que en aquéllos no hay peligro de que sean arrastradas sus cimbras.

Sin embargo, se han empleado también armaduras rígidas en muchos viaductos, según veremos en algunos de los ejemplos siguientes.

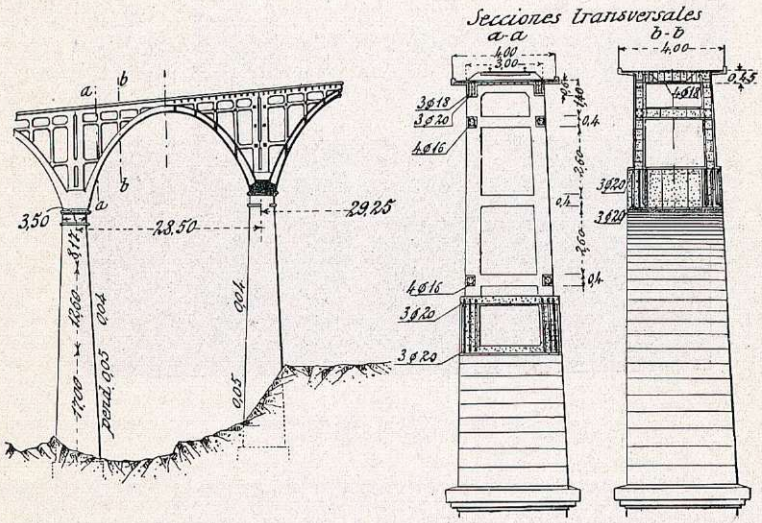


Fig. 248.—Viaducto sobre el valle Serra (Calabria).

Viaducto sobre el valle Serra, para el ferrocarril de Lagonegro a Castrovillari (Calabria).—Para vía de 0,95 m. y locomotoras de 3 ejes, de 12 toneladas, en rampa de 0,085 por metro (figura 248).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Siete arcos de 25,75 m. a 29,25 m. entre ejes de pilas, de 3,50 metros de grueso en los arranques. En el centro del viaducto se puso una pila-estribo de 5,05 m. de grueso.

Los arcos están formados por dos vigas curvas con armaduras flexibles, arriostradas en el intradós y trasdós por forjados de 0,20 m.

Nos parecen algo complicadas estas estructuras: preferimos concentrar la robustez en menor número de elementos (1).

Viaducto de Grandfrey (Suiza).—Hubo que substituir las pilas y tramos metálicos de este gran viaducto del ferrocarril de Ginebra a Berna; para realizarlo sin interrumpir la circulación muy intensa de esta línea, de doble vía, se envolvieron en hormigón las armaduras de las pilas que sostenían los tramos metálicos y se emplearon armaduras rígidas para los arcos de 42,30 metros de luz, montándose estas cerchas metálicas por debajo de los

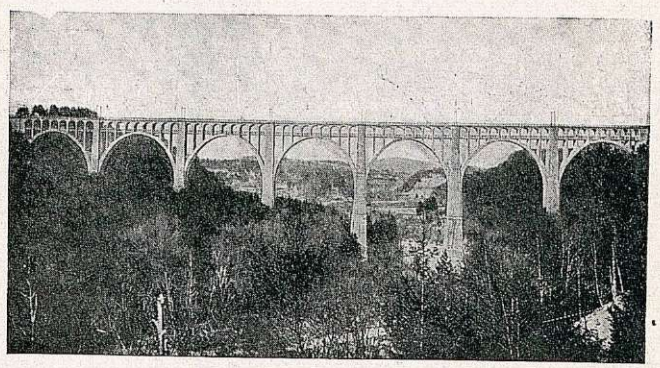


Fig. 259.—Viaducto de Grandfrey.

tramos viejos, para poder envolver aquéllas con los arcos de hormigón, sin desmontar los tramos y *sin necesidad de cimbras,* ya que los moldes de los arcos se suspendieron de las armaduras, como preconiza el autor (figs. 259 a 262).

Una vez endurecidos los arcos, se levantaron sobre ellos las

(1) Detalles en *Ponti in cemento armato,* de Santarella. Lámina 48.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

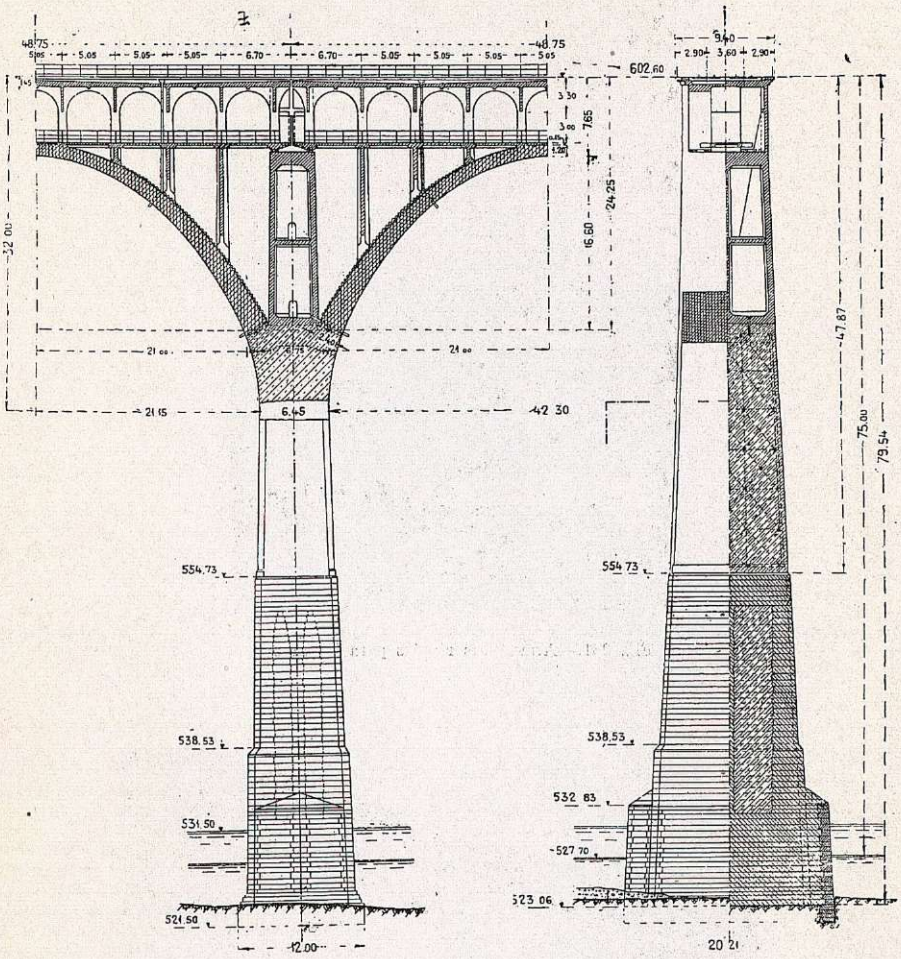


Fig. 260.—Secciones del viaducto de Grandfrey.

arcadas de tímpanos, de igual altura que las vigas de tramos metálicos, hasta que pudo sentarse una vía sobre la nueva plataforma de H. A. (1).

(1) Proyectado y dirigido por nuestro ilustre colega M. Bühler. Detalles, en un interesante artículo del profesor D. Domingo Mendizábal, en la *Revista de Obras Públicas* de 1927, pág. 200.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

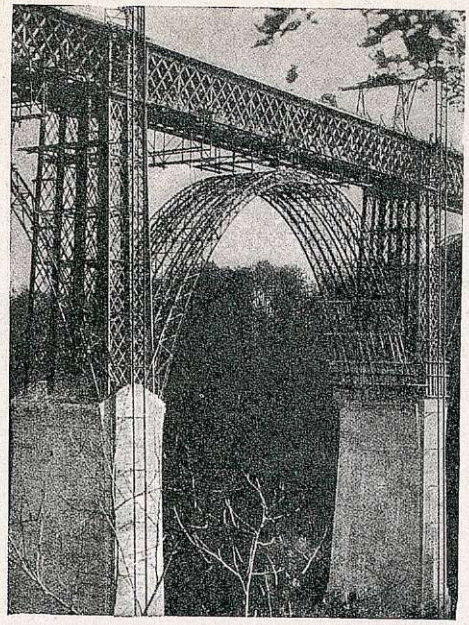


Fig. 261.—Armaduras rígidas para los arcos.

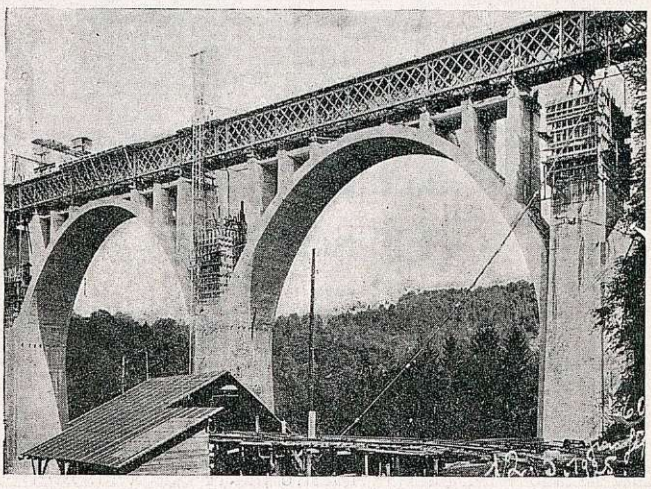


Fig. 262.—Construcción de los arcos y tímpanos antes de des montarse los tramos metálicos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

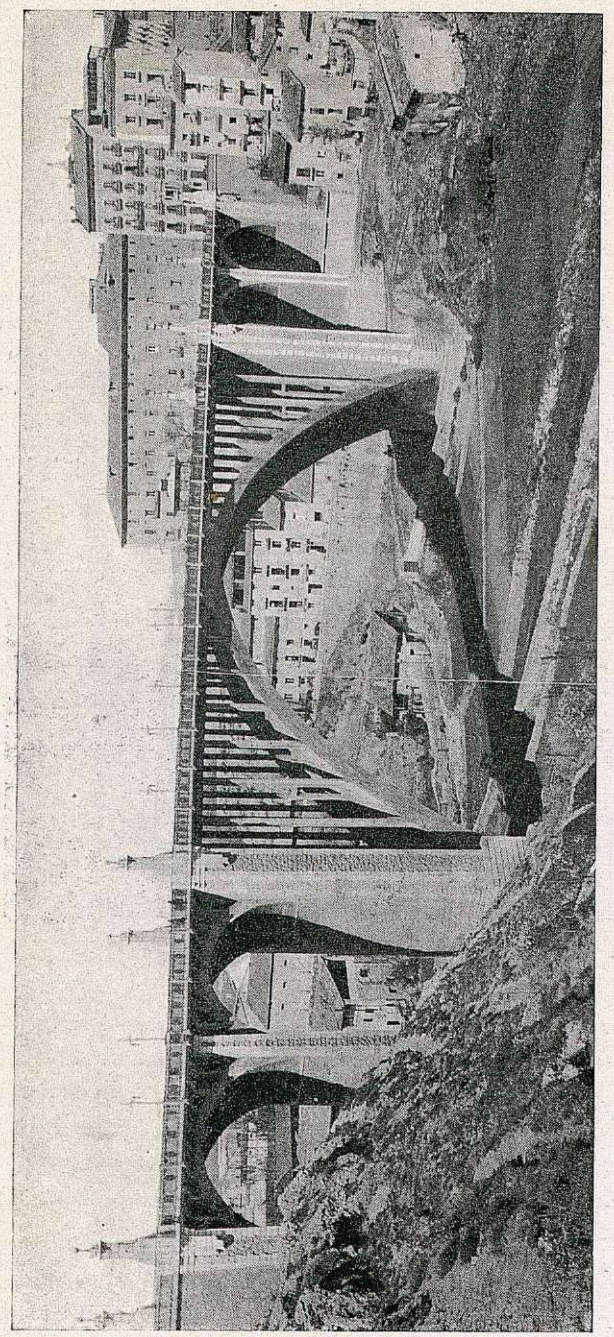


Fig. 263.—Viaducto de Teruel.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Viaducto de Teruel (fig. 263), para la carretera de Teruel a Sagunto.—Está compuesto por un arco central de 79 m. de luz, que *es el mayor de España*, y cuatro arcos laterales de 14,40 metros de luz.

Son todos los arcos continuos, con armaduras flexibles, que exigieron costosas cimbras; en los arcos se empotran palizadas de cuatro pilares que llegan a tener 18 m. de altura cerca de los arranques.

El tablero se apoya sobre los estribos por medio de aparatos de dilatación iguales a los empleados en los arcos metálicos. La decoración de este viaducto, que enlaza dos barrios de Teruel, es elegante, pero sobria. Es una obra que honra al autor de su proyecto, el ingeniero jefe D. Fernando Hué, que también inspeccionó su completa ejecución (1).

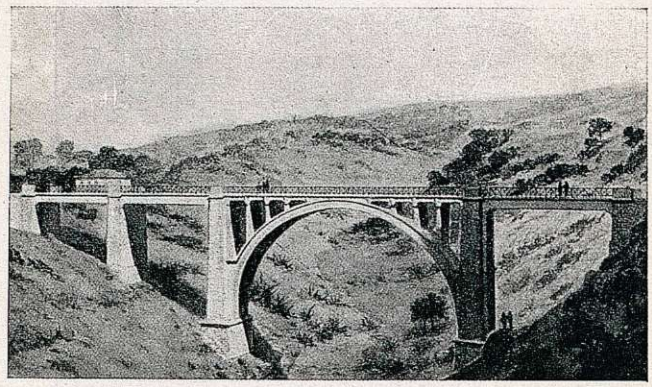


Fig. 264.—Viaducto de Barranco Hondo.

Con arcos y tramos rectos.—Es más frecuente el empleo simultáneo de arcos en su parte central y más honda y de tramos rectos en los costados de las laderas (fig. 264).; disposición racional que también preconiza y emplea el autor y que se ha aplicado después en un gran número de viaductos, de los que presentamos algunos ejemplos.

(1) Que lo ha descrito con todo detalle y planos completos en la *Revista de Obras Públicas* de 15 de octubre de 1931. El constructor fué el ingeniero D. Mariano Luiña.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Viaducto de Barranco Hondo (Canarias) (figs. 264 y 265).—Para la carretera de Santa Cruz a Orotava (isla de Tenerife).

Las armaduras del arco son rígidas y fueron las primeras en

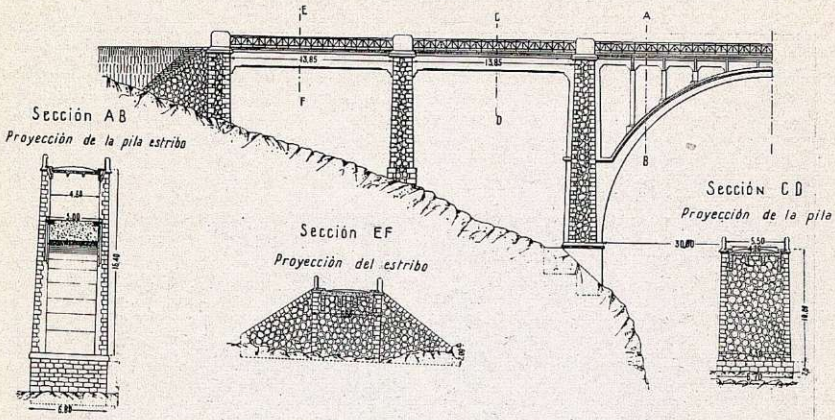


Fig. 265.—Viaducto de Barranco Hondo (Canarias).

que se constituyeron con cerchas armadas de angulares, montándose sin cimbras por trozos de 6 m., suspendidos y transportados por medio de cables (1).

Como corresponde al terreno, no tiene este viaducto más decoración que la silueta y sólo tiene mamposterías y hormigones.

Viaducto de Galcerán, en Santa Cruz de Tenerife (fig. 266).—Comunica los barrios altos de aquella capital con la margen derecha del barranco de Galcerán. Tiene alguna visibilidad, por lo que se ornamentaron sus paramentos y barandillas, aunque moderadamente.

Se compone de tres tramos en arco de 36 m. de luz y 9 metros de flecha, y dos tramos rectos de 17,30 m. el uno y 10 m. el otro.

La disposición de arcos y armaduras es igual a la de los Modelos oficiales de puentes en arco para carreteras, es decir, con cerchas rígidas en los arcos; pero como el ancho entre baran-

(1) Se adjudicó esta obra al autor en 1906, mediante concurso internacional de proyectos y ejecución, a que nos referimos en el capítulo II.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

dillas es de 13 m., se dividió la bóveda en tres arcos gemelos de 1 m. de anchura a 2,10 m. de distancia (1).

Podía haberse aumentado algo la flecha de sus tres arcos;

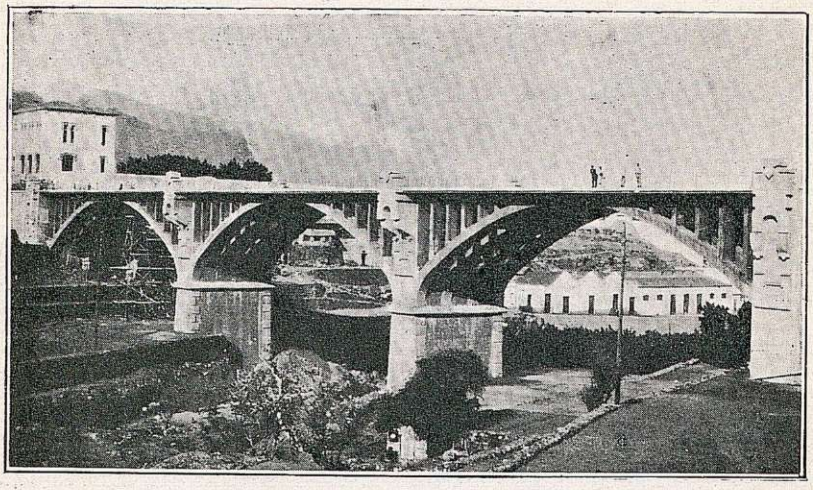


Fig. 266.—Viaducto de Galcerán (Tenerife).

pero se prefirió adoptar el rebajamiento de 1/4 para substraer sus arranques a muy caudalosas turbionadas que a veces se acumulan en aquel barranco.

Viaductos de H. A. del ferrocarril de Alicante a Alcoy.—Se acaban de construir para esta línea numerosos viaductos, todos ellos de H. A., menos uno que, por necesitar solamente arcos de 12 m., se proyectó con bóvedas de hormigón en masa (2).

Se han adoptado distribuciones de luces diferentes, casi siempre con arcos, pero completados algunos con tramos rectos (fig. 267).

Citaremos los más importantes.

---

(1) Se adjudicó esta obra a la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles, mediante concurso de proyectos y ejecución. Lo inspeccionó el Arquitecto municipal Sr. Pintor.

(2) Todos proyectados por el ingeniero D. José Roselló, que sobre ellos escribió tres interesantes artículos en la *Revista de Obras Públicas* de 1929, páginas 349, 365 y 381, con detalles de su cálculo y construcción. En el capítulo IV damos cuenta de dos de ellos, que son arcos de 40 y 44 m. a estribos perdidos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

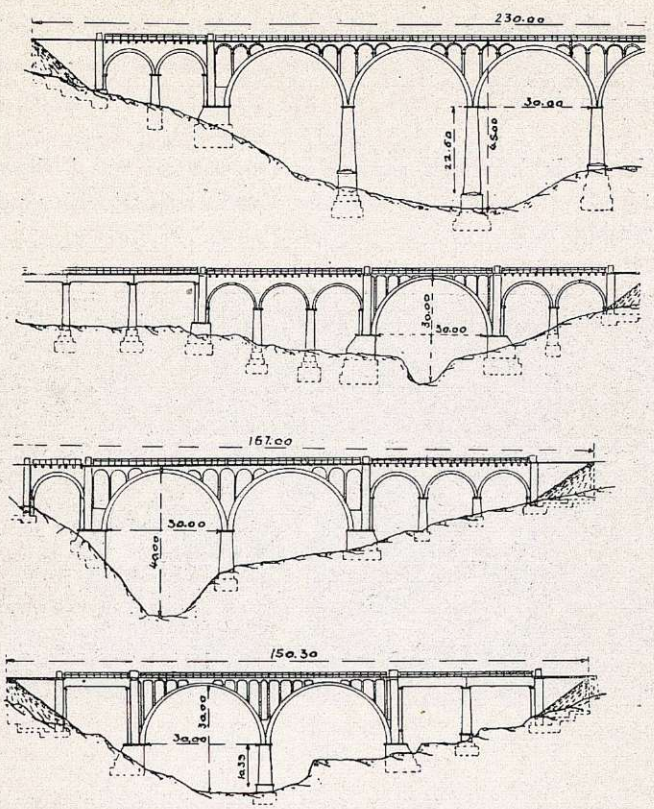


Fig. 267.—Viaductos del ferrocarril de Alicante a Alcoy.

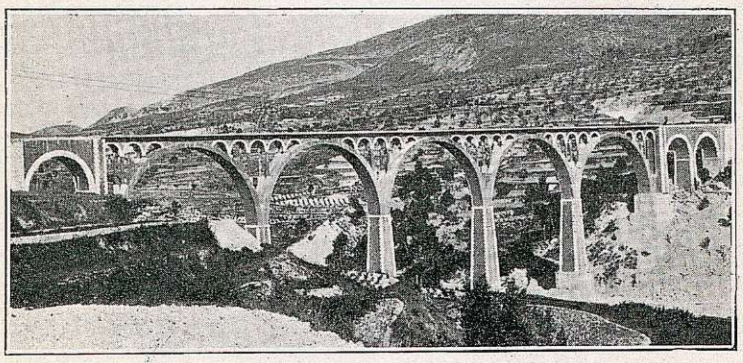


Fig. 268.—Viaducto de Polop.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Viaducto de Polop (fig. 268).—Tiene una longitud de 230 m., su rasante alcanza 46 m. y lleva cinco arcos de 30 m., con tímpanos de arquillos de 4 m.

Viaducto de Barchell (fig. 269).—Tiene 150 m. de longitud y arcos de 30 m. de luz; sus tímpanos están constituídos por palizadas dobles de H. A.

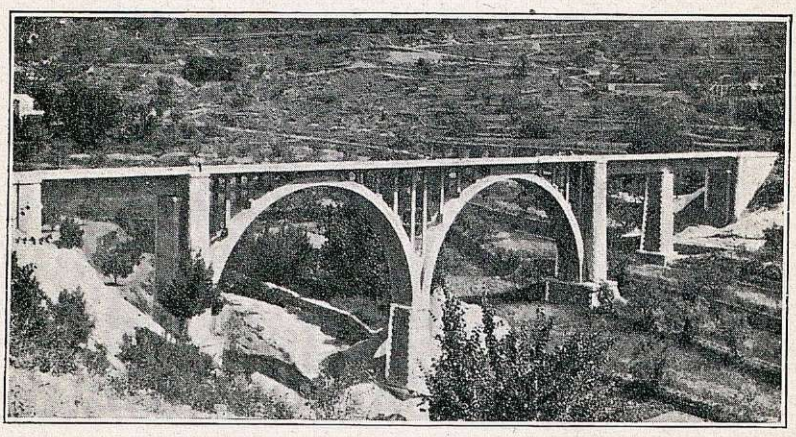


Fig. 269.—Viaducto de Barchell.

Las armaduras de los arcos son del tipo semi-rígido (figuras 270 a 272), descrito en el capítulo II.

Para tener en cuenta las dilataciones, en el viaducto de Po-

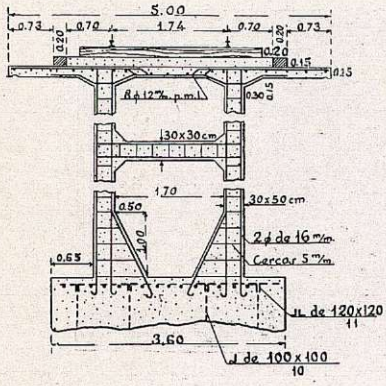


Fig. 270.—Sección transversal.

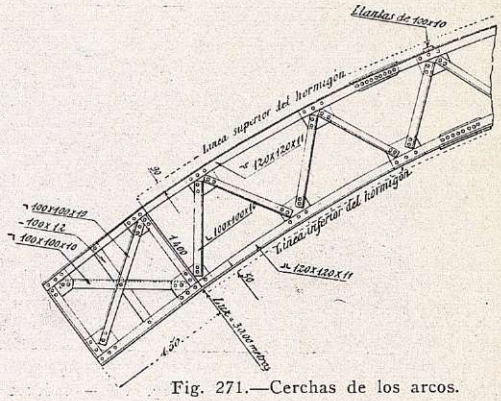


Fig. 271.—Cerchas de los arcos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

lop se ha cortado el tablero en todo su ancho, en los ejes de las pilas y en el centro de cada arco; como en los ejes de las pilas los largueros tienen forma de medio punto, trabajan como ménsulas y hubo que armarlos al efecto.

En los apoyos de los largueros y en los de las vigas rectas sobre los estribos de fábrica se han dispuesto chapas de plomo de 4 mm. de espesor. Con estas disposiciones parecen haberse anulado los efectos de la temperatura.

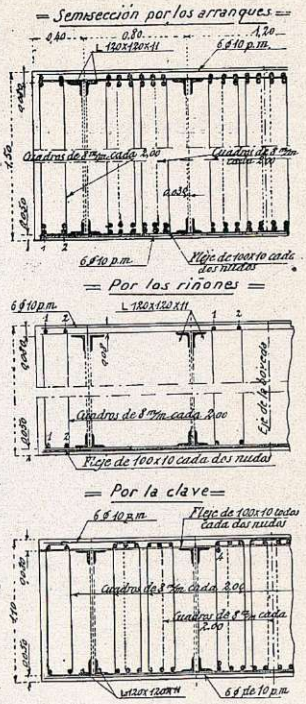


Fig. 272.—Secciones de arcos.

Viaducto en la villa de Alcoy.—Para una calle de la población. Tres arcos parabólicos de 47 m. de luz y 45 m. de altura, y tres tramos rectos en uno de los costados.

Terminado en 1928 (fig. 264).

Autor del proyecto: D. Carmelo Monzón; director de la construcción: D. Alfonso Peña; constructores: Erroz y San Martín. Las armaduras de los arcos son de aceros redondos, por lo

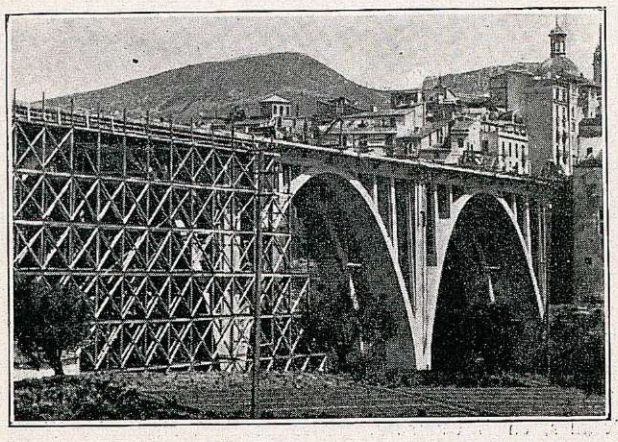


Fig. 273.—Viaducto en Alcoy.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

que exigió importantes y costosas cimbras, que se aprecian en la foto (1).

Puente-viaducto sobre el río Chiusella (Italia) (fig. 274).—En las dos márgenes, viaductos de tramos rectos de 8 m., y sobre el río, un arco parabólico de 48 m. constituído con tres cerchas.

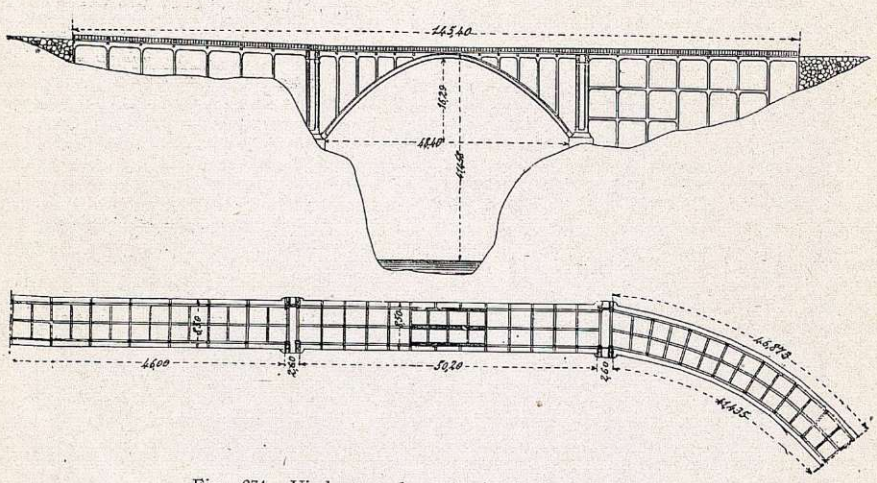


Fig. 274.—Viaducto sobre el río Chiusella (Italia).

Podía haberse reducido a 30 m. de luz el arco central. Sobre los estribos del arco las palizadas son dobles, para subdividir los efectos de dilatación.

Terminado en 1922 (2).

§ IV.—PASOS SUPERIORES Y PASARELAS

Pasos superiores.—El creciente tráfico automóvil obliga a la supresión de un gran número de pasos a nivel por medio de pasos superiores, que son pequeños viaductos.

Casi todos ellos se construyen hoy de H. A.

En el tomo I (fig. 233) dimos el detalle del tipo corriente que

(1) Detalles, en la *Revista de Obras Públicas* de 1927, pág. 3.

(2) Detalles, en *Il Cemento*, agosto de 1923. *Beton U. Eisen*, diciembre de 1923.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

empleamos en España sobre las trincheras de vía única, con tres tramos rectos de 5 m. de luz, sobre dos palizadas también de H. A. (figura 275).

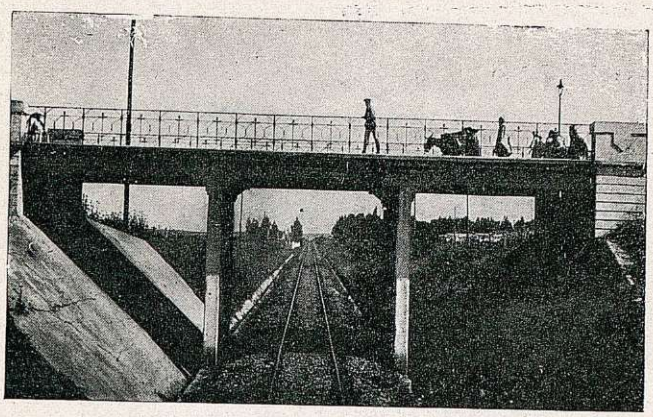


Fig. 275.—Paso superior al ferrocarril de Tánger a Fez.

Para doble vía se emplean análogas disposiciones de tramos rectos (fig. 276).

Pero también pueden emplearse arcos inferiores (fig. 277).

Las dimensiones de algunos de estos pasos superiores se indican en la figura 278.

Cuando se trata de atravesar estaciones con muchas vías, don-

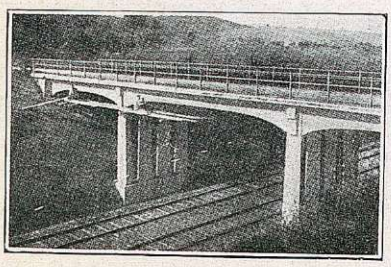


Fig. 276.

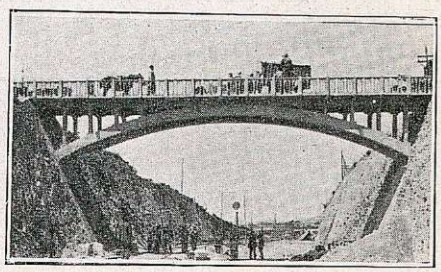


Fig. 277.—P. S. del ferrocarril de M. Z. A.

de convenga reducir el número de apoyos, en vez de pequeños tramos rectos, se emplean arcos superiores (figs. 279 y 280), o colgados, como en la estación de Laon (fig. 212), con los que pueden salvarse mayores luces.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En los pasos superiores sobre las estaciones, las locomotoras quedan paradas debajo de los tramos; el humo de las chimeneas puede ocasionar grietas, por las que los ácidos sulfurosos del humo atacan las armaduras y el cemento.

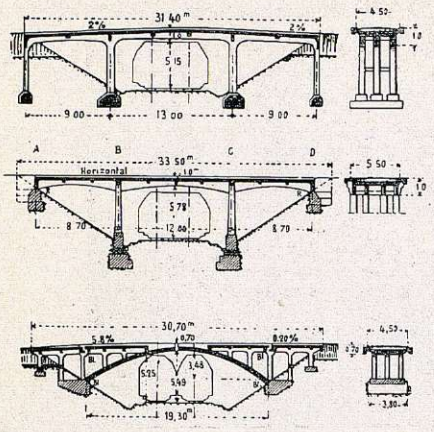


Fig. 278.

Suelen adoptarse las siguientes precauciones para evitarlo:

Aumentar de 2 a 5 cm. el espesor del hormigón que envuelve las armaduras: dar mucha compacidad al hormigón, y hasta en tramos muy expuestos a los humos emplear cementos fundidos.

La Compañía de Paris-Lyon-Mediterranée, en sus pasos superiores inmediatos a estaciones, defiende los tableros de H. A. mediante unos cielos rasos de H. A. fijados a las cabezas inferiores de las viguetas.

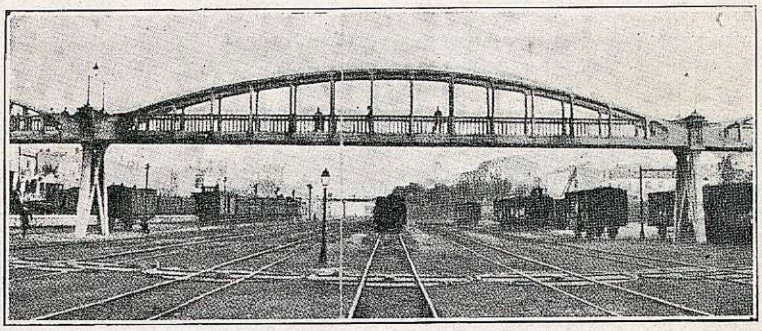


Fig. 279.—P. S. en estación francesa.

Pasarelas (1). — Aunque estos pequeños puentes, destinados exclusivamente al tránsito de peatones, se ejecutan algunas ve-

(1) Algunos Ingenieros las llaman impropiamente *pasaderas*, que son, según el *Diccionario*, "Cualquier cosa convenientemente colocada para que caminando sobre ella pueda atravesarse una corriente de agua."

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ces sobre ríos, como vimos en el de Gerona (fig. 169), donde principalmente se emplean es sobre las estaciones o por encima de cualquier vía.

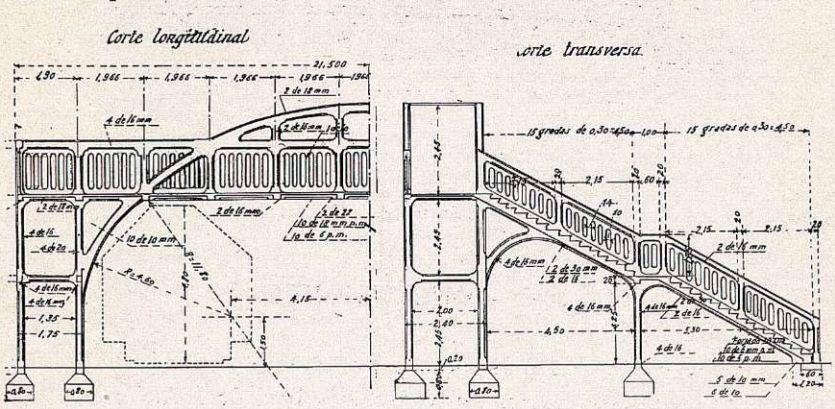


Fig. 280.—Pasarela en la estación de Ujo (Asturias).

Para evitar largas rampas, suele accederse a ellas por escaleras, como en las figuras 280 y 281.

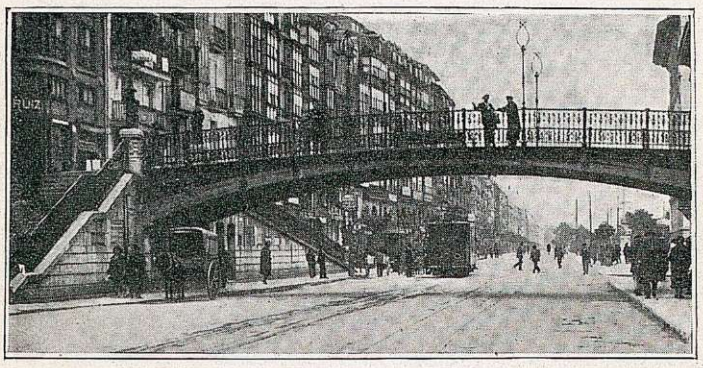


Fig. 281.—Pasarela en Santander.

Como tipo original, presentamos una pasarela de 35 m. de luz, constituída por una sola viga aligerada (fig. 282).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

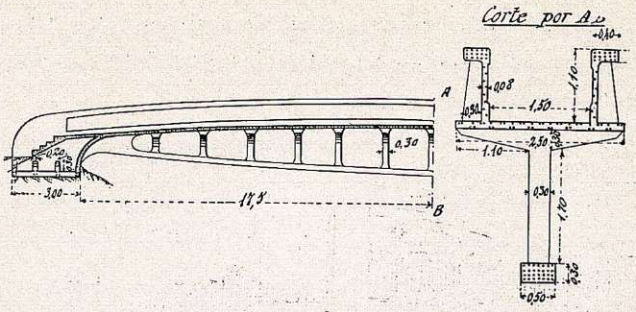


Fig. 282.—Pasarela sobre el Mus (Italia).

§ V.—CONCLUSIONES

Tanto y hasta aun más que en los puentes, cuando haya que proyectar viaductos deben tantearse multitud de soluciones.

Ya sea para carreteras de tercer orden o para ferrocarriles de vía ancha, los Modelos oficiales de tramos rectos y en arco que describimos en el capítulo III facilitan extraordinariamente el estudio comparativo de todas las soluciones.

Pero de los ejemplos que presentamos, y sobre todo de los viaductos recientemente construídos en España, pueden deducirse las conclusiones siguientes:

Menores luces que para los puentes.—También en el estudio de los viaductos, *los cimientos mandan.*

Los viaductos se construyen, o en valles sin ríos, generalmente en terrenos de aluvión, o en abruptas barrancadas, en terreno de roca, o por lo menos duro, con sus vaguadas de fuerte pendiente.

En ambos casos los cimientos de las pilas pueden ejecutarse en seco y no están sometidos a socavaciones; resultan, pues, más económicos que en los puentes.

En consecuencia, podrá aumentarse el número de los apoyos y reducir, por lo tanto, las luces de los tramos: de aquí una sensible economía a igualdad de longitud de obra.

Economía en las cimbras.—No habiendo ríos desaparece la contingencia de la destrucción de las cimbras por las crecidas; podrán

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

también ser más ligeras, y como la reducción de luces aumentará el número de tramos, se amortizará mejor su adquisición y mano de obra.

Distribución de luces.—Quizá más que en ninguna obra de fábrica deben proyectarse los viaductos a la medida del terreno.

Si el perfil *es trapecial,* como en A (fig. 283), puede convenir un solo tipo de arcos o tramos, sin ninguna pila-estribo.

Cuando el terreno es de forma triangular (fig. 283 - B), habrá que distribuir la longitud en varios tipos de arco o tramos.

Si hubiera río en la vaguada, convendrá quizá un arco grande (fig. 283 - C). En estos dos últimos casos deberán ser pilas-estribos los apoyos que separan los grupos distaintos de arcos o tramos rectos.

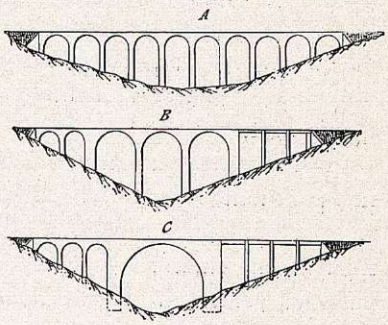


Fig. 283.

Elección de materiales.—Como en los puentes, para rasantes hasta 15 m. de altura, y si hay piedra buena y barata, pueden convenir las pilas y arcos de fábrica.

Pero para rasantes más altas, habrá que examinar las soluciones de hormigón armado, que hemos descrito, ya que será probable resulten más económicos en casi todos los casos.

Elección de tipos.—Generalizados los tramos rectos y los pilares de H. A., y desaparecida aquella fetichista devoción a las bóvedas, deben compararse sin prejuicios unas y otras disposiciones.

El autor, sin embargo, *y como indicación,* puede añadir que en sus numerosos proyectos ha observado que, en general, hasta unos 10 m. de luz, los arcos de mampostería u hormigón en masa son más baratos; entre 10 y 20 m. suelen convenir los tramos rectos de H. A.; entre 20 y 30 m. resultan quizá más económicos los arcos de hormigón en masa, y a partir de 30 m., los de hormigón armado. No son éstas, claro está, reglas precisas; pero servirán como orientación para los anteproyectos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Ni decoración, ni grandes arcos.—Por último, en estos viaductos, que no suelen ser vistos, ni por los viajeros que circulan sobre ellos, no deben los ingenieros preocuparse de su aspecto, menos aun de su ornamentación; tampoco deben perseguir la realización de grandes arcos, si no fueran inevitables; los viaductos, como los túneles, como un dique o una presa, son obras industriales, no son monumentos; no debe preocuparse el ingeniero de su lucimiento artístico, sino de su conciencia profesional, que le obliga a proponer la solución más económica, dentro de la moderna técnica.

Por cuanto acabamos de exponer, vemos que no puede haber inconvenientes serios en aplicar a los viaductos los tipos de tramos y palizadas rectas, a semejanza de las obras similares de madera en América, siempre que se prevean disposiciones prácticas para los efectos de temperaturas, se comprueben a saciedad las dimensiones—que no deben escatimarse—y se exija una perfecta ejecución.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CAPÍTULO IX

ACUEDUCTOS

§ I.—**Acueductos de fábrica.**

Su historia.—Disposiciones modernas.—Cajeros de H. A. (Ejemplo: Perera.)

§ II.—**Acueductos de H. A.**

Con tramos rectos. Ejemplos: acueducto del Araxes y del Nou.—*Con tubos.* Ejemplos: de Miraflores.—*Con semitubos* (de Tardienta).—*Con arcos.* Ejemplos: del Chorro; de Valdespares; de la Adelfa; de Almonaza; del Júcar; de Mollaso.

§ III.—**Conclusiones.**

§ I.—ACUEDUCTOS DE FABRICA

Su historia.—Ya en nuestro tomo I, capítulo IV, expusimos en aquella *Reseña histórica* cómo fueron los Romanos los primeros que transportaron el agua por medio de acueductos de fábrica, con los que sus canales salvaban a grandes alturas las depresiones de terreno que a su paso encontraban. Dimos entonces fotografías de los hermosos acueductos de Segovia, Tarragona y Mérida, en España, y del Gard, en Francia, que evidencian el gigantesco espíritu constructivo de aquellos antepasados.

Todos ellos están construídos con sillares en seco y en varios pisos, cuyas pilas arriostraron con arcadas, y sobre la imposta del piso superior ponían el cajero del canal, también de sillería, pero rejuntado con mortero hidráulico.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Durante la Edad Media, la Humanidad se mantuvo embrutecida, y durante quince siglos únicamente los Arabes, con sus canales de riego y de abastecimiento a poblaciones, persiguieron el bienestar agrícola y la higiene.

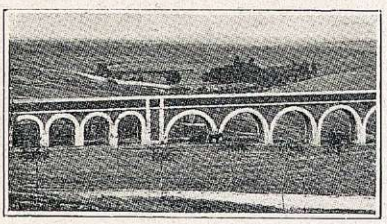


Fig. 284.—De Amaniel.

Sólo en el siglo XVII se recordó la ingeniería romana en algunos acueductos de Italia y Portugal.

Disposiciones modernas. — Pero ya a mediados del siglo XIX se preocuparon las poblaciones de surtir de agua abundante a sus habitantes, utilizando canales y tuberías forzadas de hierro fundido.

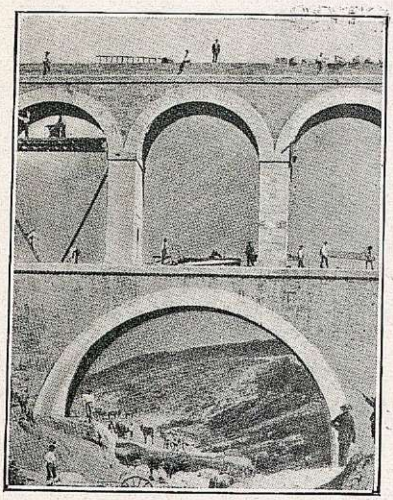


Fig. 285.—De la Sierra

Se construyeron entonces nuevos acueductos, en los que siguiendo la disposición general y proporciones de los Romanos, se afinaron las dimensiones de pilas y arcos merced al empleo de morteros hidráulicos.

Entre 1851 y 1853 se construyeron un gran número de acueductos para el Canal de Isabel II, que abastece a Madrid (1), con fábricas de granito o de ladrillo, o mezclas de ambos materiales, de los que presentamos dos ejemplos (figs. 284 y 285).

De parecidos tipos fueron los construídos en el Extranjero, por lo que sólo citamos el más notable en Roquefavour (fig. 286), con arcos de 16 m. y altura de 75 m., que se construyó con la suntuosidad, el refinamiento y buen gusto característicos de las Obras públicas francesas de aquella época.

---

(1) Cuya solemne inauguración el 24 de junio de 1858, recuerda nuestro compañero D. Carlos de Orduña en la *Revista de Obras Públicas* de 1.° de enero de 1925.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

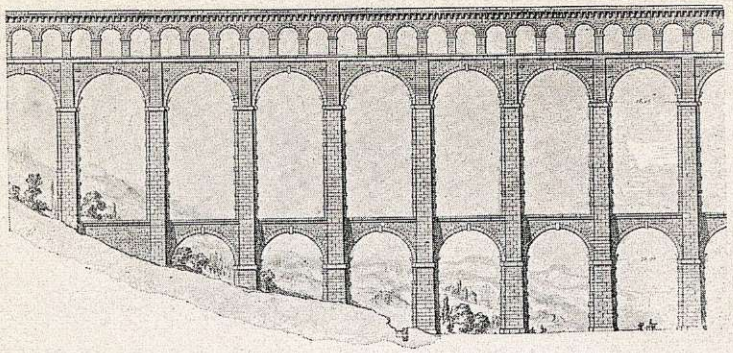


Fig. 286.—De Roquefavour (Francia).

Cajeros de hormigón armado.—La aparición del H. A. hizo pensar en utilizarlo, por lo menos para sus cajeros, disponiéndolos sobre viaductos de fábrica, con lo que se reduce el ancho de éstos.

Fig. 287.

Fig. 288.

Las paredes verticales pueden atirantarse por viguetas transversales, sobre las que se disponen andenes (figu-

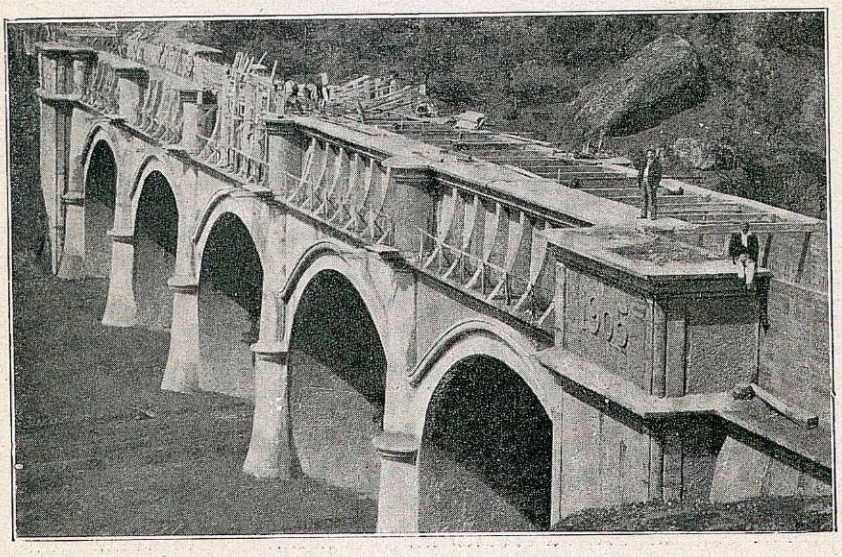


Fig. 289. — Puente acueducto de Perera.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ra 287), o con ménsulas exteriores, que permiten entonces la navegación por el canal (fig. 288).

Así, hemos construído en 1903 el acueducto de Perera, para el canal de Aragón y Cataluña, proyectado por el ingeniero D. Rafael López Sandino, con pilas y bóvedas de hormigón en masa (figura 289).

§ II.—ACUEDUCTOS DE HORMIGON ARMADO

Pero aplicado el H. A. con éxito a los cajeros, era obligado que su empleo se extendiera al acueducto propiamente dicho.

Fig. 290.—Acueducto del Araxes.

Sobre tramos rectos.—Ya en 1898 construímos para la Papelera del Araxes (Tolosa) el acueducto representado por las figuras 290 a 292.

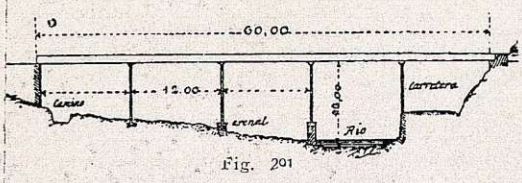


Fig. 291

Utilizamos las paredes del cajero para constituir con ellas los nervios de las vigas, y el andén superior para su cabeza de compresión; los apoyos son palizadas sencillas, cuyos pilares tienen talud de 1/10, sobre pequeñas bases de mampostería. La disposición resultó muy económica, y sorprendió mucho en aquella época.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Puede utilizarse igual disposición no sólo para pasarelas, sino para dar paso a una carretera (fig. 293).

En el canal de Aragón y Cataluña construímos en 1905 dos acueductos para 36 m³ por segundo, por encargo del ingeniero D. José Sans Soler. Como el cajero necesitaba gran anchura, lo apoyamos sobre un robusto tablero y palizadas sencillas (fig. 294).

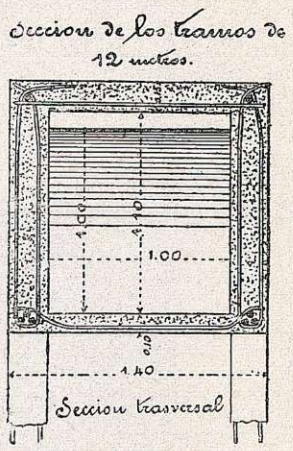


Fig. 292.—Del Araxes.

Disposiciones semejantes se construyeron después en aquel mismo canal, y posteriormente en el del Guadalquivir y en las demás Confederaciones hidráulicas.

En ellos se aplicaron los tipos de tramos y palizadas empleados en los puentes, modificándolos con arreglo a las sobrecargas especiales de los acueductos, que si bien pueden ser muy considerables cuando la altura de agua y la anchura del canal son grandes, en cambio son *siempre uniformemente repartidas, circunstancia muy favorable y exclusiva de los acueductos.*

Las luces de estos tramos varían de 4 a 8 m., según la altura

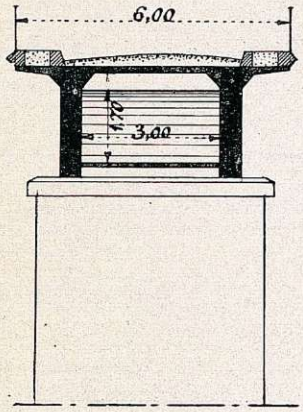


Fig. 293.

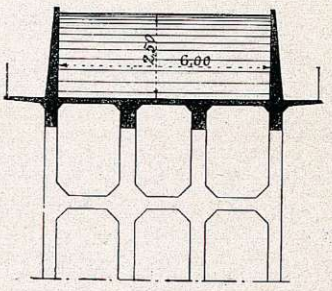


Fig. 294.

de las palizadas y sobre todo el coste de sus cimientos. Téngase en cuenta que la mayor parte de estos acueductos se construyen sobre valles no socavables; así es que los cimientos de las paliza-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

das pueden casi siempre constituirse con unas placas de H. A. a flor de tierra.

Describiremos algunos ejemplos.

Acueducto del Nou, para el Canal de Aragón y Cataluña (1). Situado entre Tamarite y el Sifón de Albelda, que describiremos en el siguiente capítulo.

Todo el acueducto está en curva (figs. 295 y 296) y tiene una

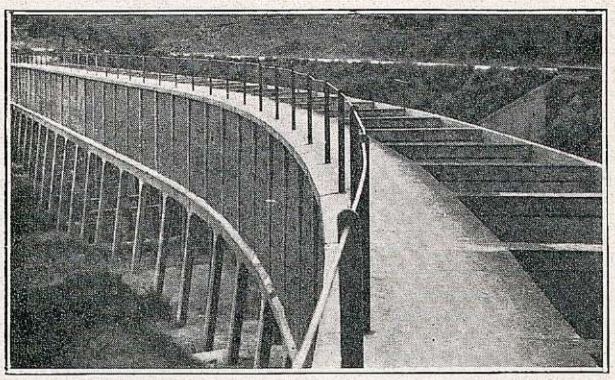


Fig. 295.—Acueducto del Nou.

longitud de 95 metros. La disposición de las armaduras es sencillísima y lleva muchos años en servicio sin exigir la menor conservación.

Los pilares podían haber sido verticales por su pequeña altura y los cimientos no pueden ser más sencillos y económicos, según acabamos de señalar.

Con tubos.—Cuando el canal va en tubería puede utilizarse la resistencia propia de los tubos de hormigón armado, para constituir con ellos las vigas de los acueductos. Su resistencia a la flexión permite disponerlos como tramos rectos, simplemente apoyados sobre pilas o palizadas. Las varillas generatrices del cilindro anular, que para los tubos sólo sirven como barras de repar-

(1) Proyectado por el ingeniero D. Manuel Morales Tello.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

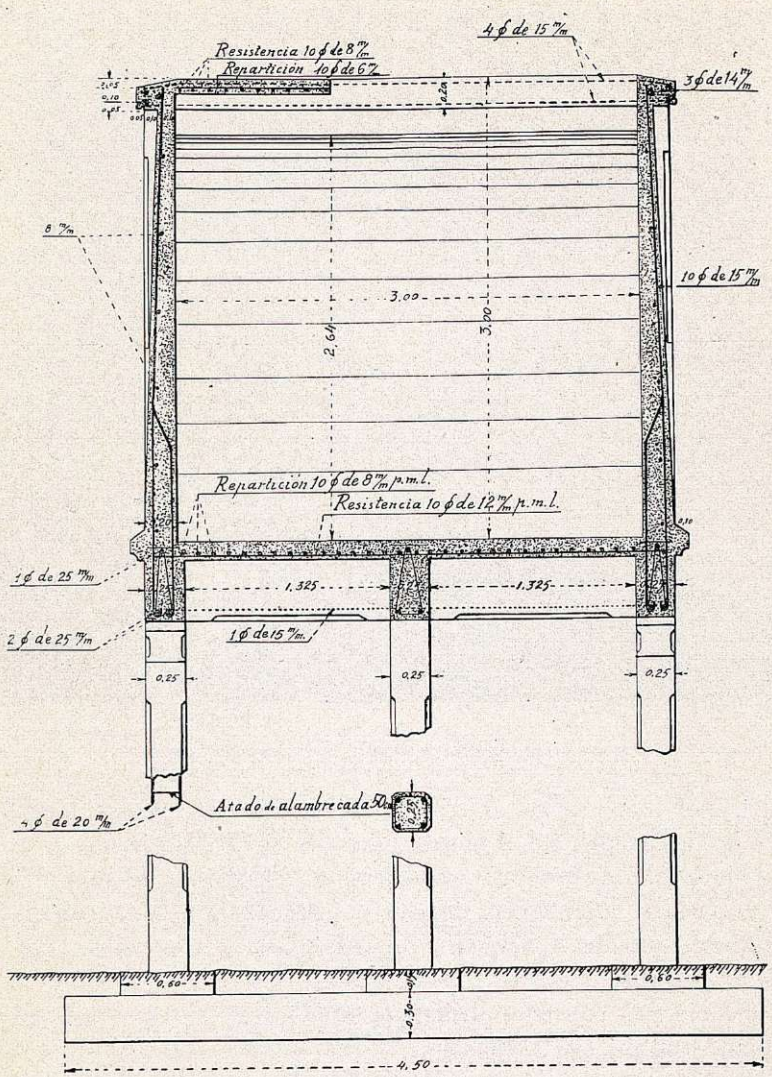


Fig. 296.—Acueducto del Nou.

tición de las barras directrices, trabajan y sirven en estos acueductos para resistir los momentos flectores de los tramos rectos, según vemos en el siguiente ejemplo.

Acueducto sobre el arroyo Miraflores (Sevilla), en el trozo

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cuarto del canal de Riego del Valle inferior del Guadalquivir (figura 297).

Conduce un caudal de 2.895 litros por segundo con una pendiente de 0,0015.

Está constituído por un tubo de 1,50 m. de diámetro interior que, resistiendo como viga, se apoya sobre palizadas especiadas *15 metros.*

Cada tres tramos hay una palizada doble que permite disponer una junta de dilatación. Queda, por tanto, constituído el acue-

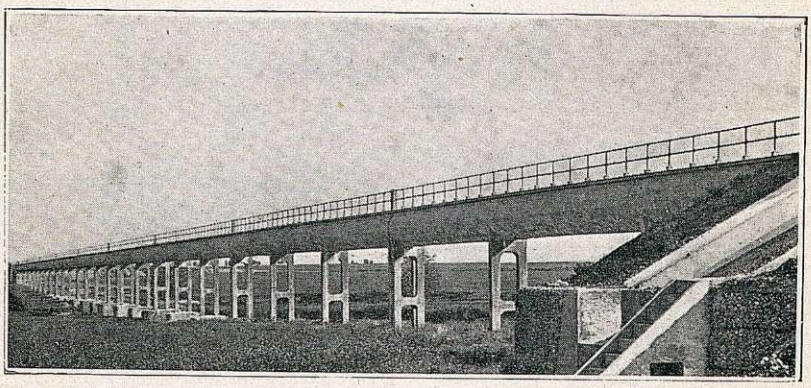


Fig. 297.—De Miraflores.

ducto por nueve pórticos triples, independientes entre sí y en los que la viga constituye el mismo tubo que sirve de cajero.

Tiene como elementos accesorios un aliviadero de superficie a la entrada y compuertas de cierre y de desagüe a la salida. La longitud total del acueducto, con aliviadero y compuertas, es de 441,35 metros.

Se ejecutó por administración con destajos y su coste aproximado fué de 190.000 pesetas.

Con semitubos.—Pueden substituirse los tubos antes descritos por semitubos de hormigón armado, según se justifica y aprecia en el originalísimo ejemplo que sigue.

Acueducto de Tardienta, para el canal de Monegros, en la Confederación del Ebro (figs. 298, 299 y 300).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

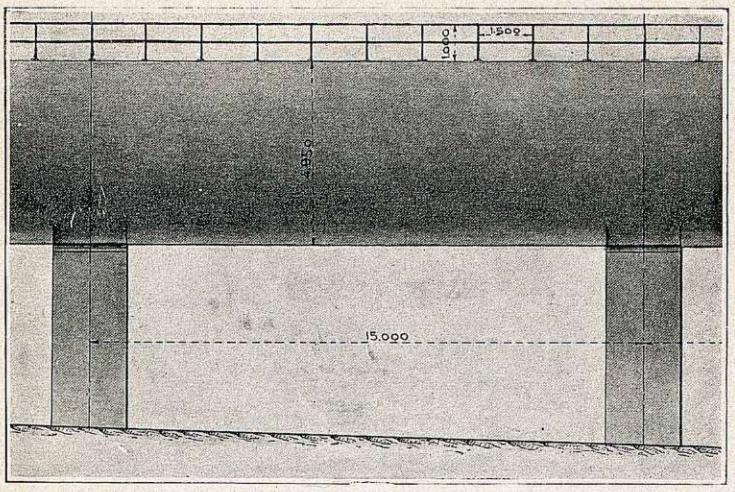


Fig. 298.—Acueducto de Tardienta.

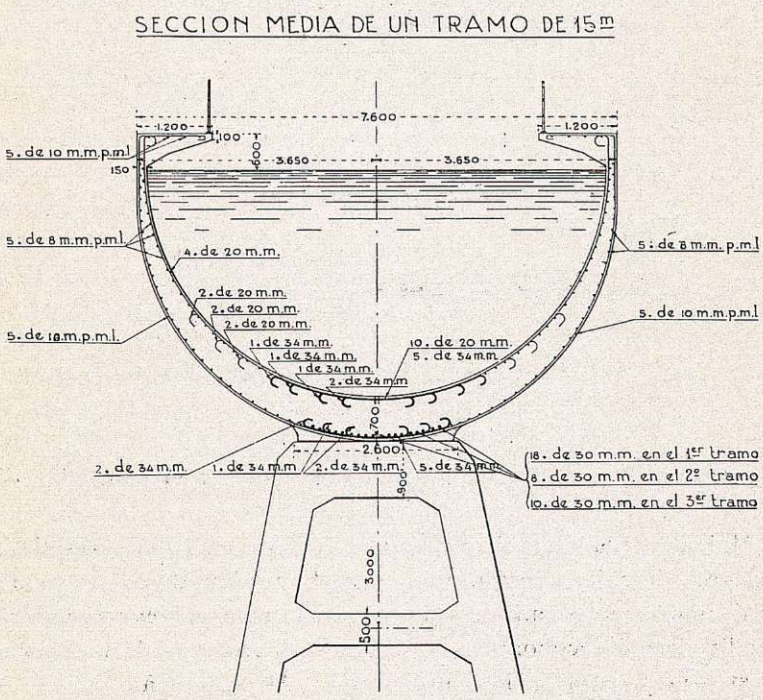


Fig. 299.—Tardienta.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Este acueducto, cuya construcción comenzará en breve, constituye un ejemplo bien patente de la economía que puede obtenerse cuando se persigue la máxima sencillez en la composición de

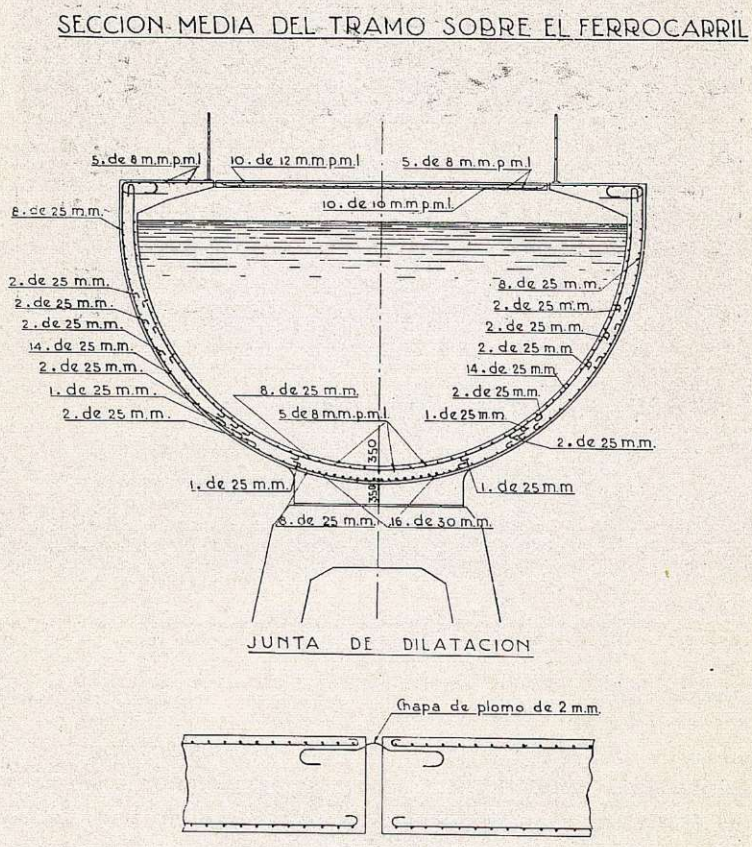


Fig. 300.—Tardienta.

la estructura, aunque sea prescindiendo de experimentadas disposiciones.

Habíase redactado el primer proyecto de esta obra con el tipo corriente de cajero rectangular, pero la cuantía de su presupuesto, de unos cuatro millones de pesetas, aconsejó encomendar el estudio de más económicas soluciones al profesor de la Escuela, nuestro muy distinguido compañero D. Alfonso Peña.

Comprendiendo este ingeniero que la economía se obtiene

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

principalmente, y como repetidamente decimos, no por forzar los coeficientes reduciéndose masa, sino por una más acertada disposición del trabajo de los elementos, que produzca su mayor rendimiento, estudió el problema con el criterio de simplificar la estructura dentro de la misma moderación en el trabajo elástico, lo que le condujo a la muy feliz idea de adoptar para los tramos del acueducto unos semitubos de H. A. (figs. 298 a 300). Resultó una economía superior a un millón de pesetas en el presupuesto, con iguales precios unitarios, siendo aprobado el nuevo proyecto, que es el que va a realizarse. Se compone la obra de tres trozos: uno de 495 metros, con tramos de 15 metros; otro de 12,34 metros para paso sobre el ferrocarril, y el tercero de 370 metros, con tramos de 9 metros.

Estas diferencias de luces en los tramos es debida a la distinta altura del terreno firme para cimientos, sobre el que se apoyan los caballetes de apoyo por una placa armada de repartición.

La sección transversal es semicircular, calculada para dar el enorme gasto de 71 m³. por segundo, que es el del primitivo proyecto y con igual pendiente de 0,001.

Las secciones transversales son iguales en los tramos de 15 y de 9 metros, pero longitudinalmente varían sus armaduras por haberse calculado para las respectivas luces como piezas de cinco tramos, estableciéndose una junta completa entre cada uno de los trozos de cinco tramos.

El apoyo sobre los caballetes de hormigón armado está dispuesto por medio de chapa de plomo, para que la reacción sea vertical e isostática.

El trozo intermedio cruza el ferrocarril y como la altura de rasante establecida no daba altura bastante para el gálibo normal, con objeto de no alterar las rasantes de la vía y acueducto, era indispensable reducir a 0,35 el grueso del semitubo en su sección inferior. A este fin se estudió este tramo con el mismo perfil interior, pero poniendo unos tirantes en la parte superior para distribuir los momentos flectores transversales en forma que den valor mucho más reducido en la parte inferior. Esos tirantes, para su mejor conservación, van hormigonados en losa continua, pero por la especial ventaja que tiene el tirante isostático, para materializarle, se ha hecho la armadura cruzada en un puuto, en cada

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

extremo, con junta seguida y colocando la armadura (en esas pequeñas zonas) dentro de tubos de plomo que evitan la oxidación.

Las juntas transversales cortan totalmente el acueducto en los caballetes de apoyo, de 5 en 5, y la impermeabilidad se consigue con chapa de plomo, de 2 mm. de grueso, en forma abombada, según indica la figura 300.

Con arcos.—Ya en 1906 (1) construímos el acueducto del Chorro (Málaga) sobre un arco de H. A. de 30 m. (fig. 301), que describimos en el capítulo II.

En esta obra fué donde por primera vez, que sepamos, se cons-

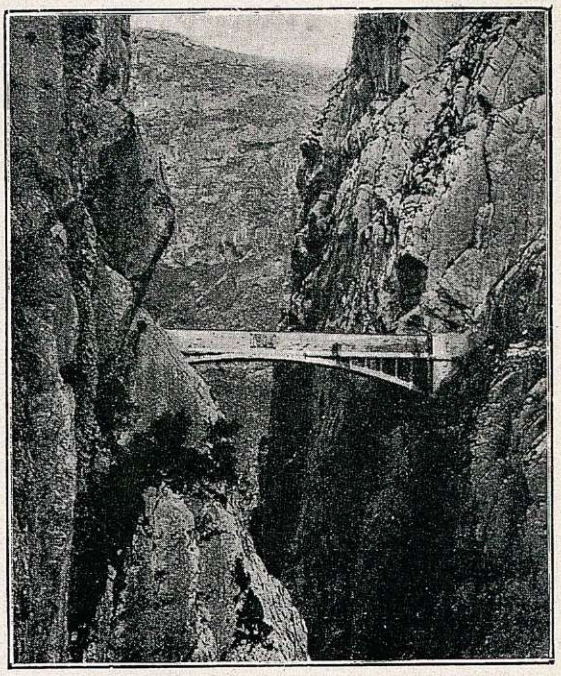


Fig. 301.—Acueducto del Chorro.

truyó un arco sin cimbras, utilizando para ello las armaduras rígidas constituídas por ocho viguetas del comercio de 24 cm.

(1) Lo ejecutamos por encargo de los ingenieros D. Leopoldo Werner y D. Rafael Benjumea, que fué después Ministro de Fomento.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

De entonces acá se han construído muchos acueductos sobre arcos, que sobre todo convienen cuando al atravesar ríos exigen por sus cimientos emplear luces mayores de 15 m.

Teniendo presente la *uniformidad de las sobrecargas* y la ligereza que puede darse a los tímpanos, y trazando las curvas directrices de los arcos con parábolas de segundo grado, la funicular de sobrecargas no variará sensiblemente de posición, lo que permite la reducción de sus espesores a cifras que no pueden alcanzarse en los puentes ordinarios.

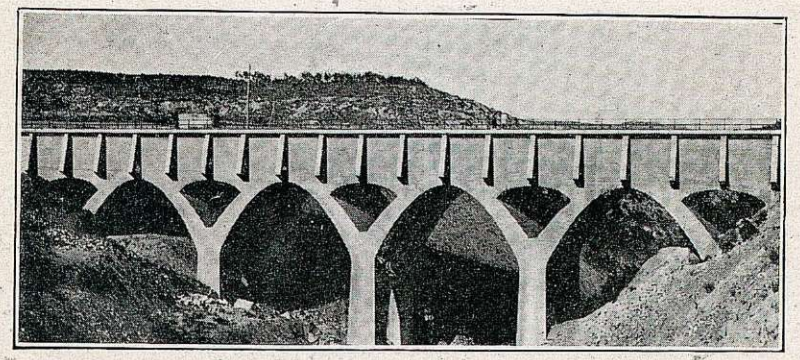


Fig. 302.—En Valdespartera. (Riegos del Alto Aragón.)

Aprovechando estos factores, los ingenieros de las Confederaciones del Ebro y Guadalquivir han construído varios acueductos con este tipo de arcos, que pasamos a describir.

Acueducto de Valdespartera (figs. 302 y 303).—Arcos de 12 m. de luz, de hormigón fuertemente armado para la carga de agua de 35 toneladas por metro lineal que puede llevar a cajero lleno (1).

Las paredes del cajero se apoyan sobre contrafuertes a 3,50 m. de distancia.

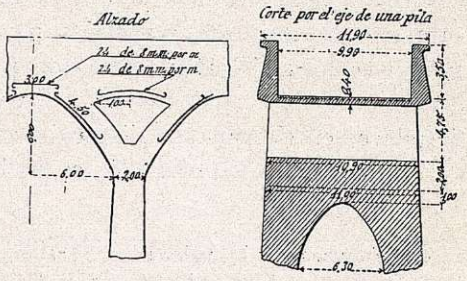


Fig. 303.

(1) Para los Riegos del Alto Aragón. Canal del Gállego. Ingeniero autor del proyecto: D. José Núñez Casquete. Contratista: Vías y Riegos, S. A.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Acueductos del Canal de riego del Valle inferior del Guadalquivir.—En este canal se han construído en los últimos veinte años todos los acueductos con hormigón armado, y debemos destacar sus muy originales características.

Cuando sus alturas de rasantes no exceden de 8 m., se adoptaban los tipos corrientes de tableros rectos sobre palizadas de H. A., análogos a los que iniciamos en el Canal de Aragón y Cata-

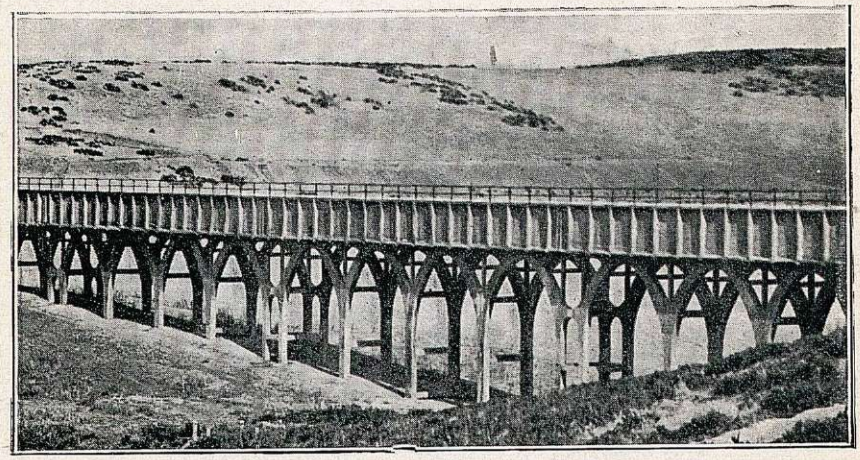


Fig. 304.—Acueducto de Adelfa. (Riegos del Guadalquivir.)

luña, o con tubos sobre palizadas, como vimos anteriormente en el acueducto de Miraflores.

Pero para alturas mayores de rasantes, los ingenieros de aquel Canal (1) aprovecharon la favorable circunstancia de las sobrecargas uniformemente repartidas para aumentar las luces de los tramos, empleando muy ligeros arcos parabólicos de H. A. entre 8 y 20 m. de luz, sobre los que se apoyaban los cajeros por medio de pilares en tímpanos, a distancias de 2 a 4 m.

Presentamos dos ejemplos entre los más interesantes.

---

(1) Actuaron principalmente en estos proyectos y obras los ingenieros jefes D. Antonio Hernández Bayarri y D. Eusebio Rojas Marcos, y como ingenieros: los Sres. D. José Luis Casso, D. Pedro Grajera, D. Juan Romera y D. Cristóbal Prieto. Casi todos estos acueductos se ejecutaron por administración.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Acueducto de la Adelfa (figs. 304 y 305).—Arcos de 8 m. entre ejes de pilares. Cada cuatro tramos se establece una palizada doble, en cuyo centro el cajero tiene una junta de dilatación, que por lo tanto están a 33,70 m. de distancia.

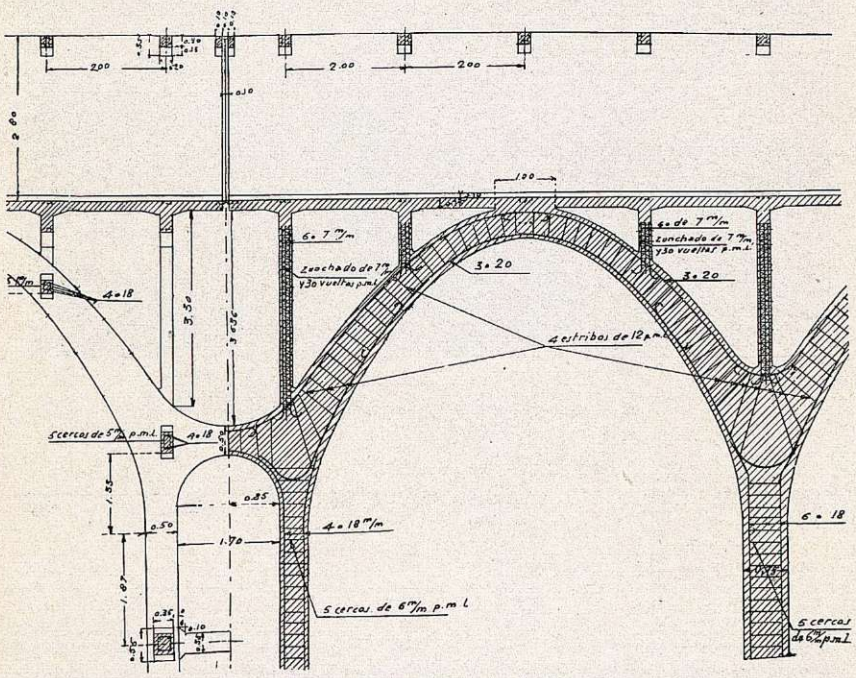


Fig. 305.—Acueducto de Adelfa.

Acueducto de Almonaza (figs. 306 a 308).—Su longitud total de 363 m. está dividida en tres partes: una central de 11 tramos, con arcos de 20 m. sobre pilas de hormigón en masa, y dos laterales de tramos rectos tipo corriente sobre palizadas a 4 m. de distancia.

La pendiente es de 0,0008 para un caudal de 6 m³. por segundo, y tiene juntas de dilatación cada 20 m.

Los arcos de 20 m. tienen taludes de 20°, quizá innecesarios.

Costó 355.000 pesetas, es decir, menos de 1.000 pesetas por metro, cifra muy económica.

Juntas de dilatación.—En todos estos acueductos de gran longitud, hubo que poner dispositivos especiales para contrarrestar

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

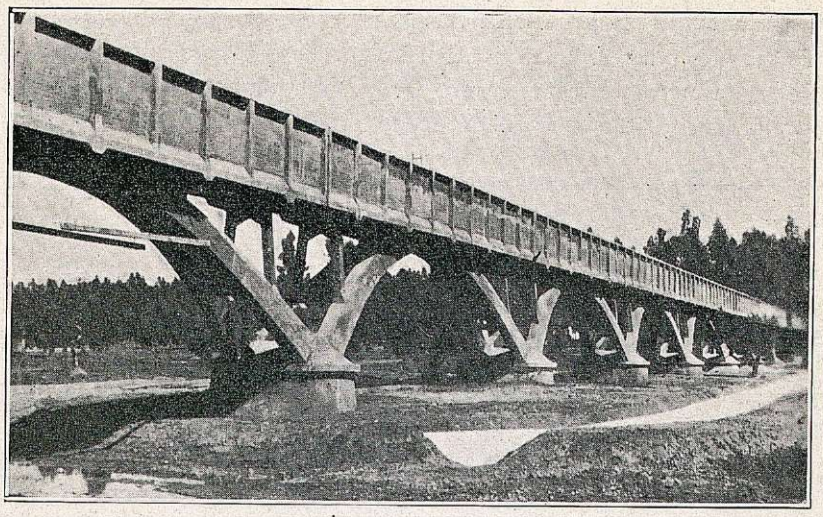


Fig. 306.—Acueducto de Almonaza.

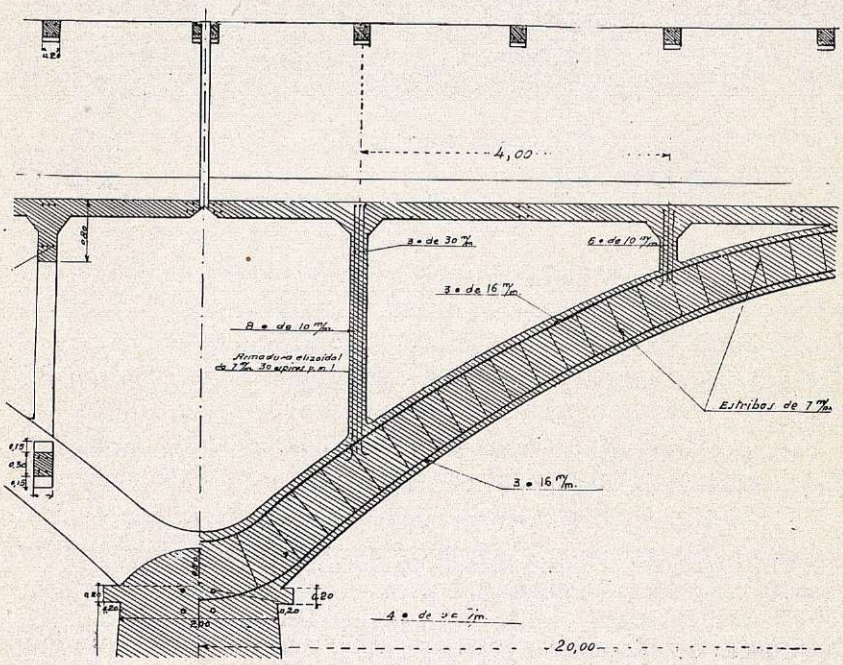


Fig. 307.—Tramos en arco de Almonaza.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

las sensibles contracciones que en sus cajeros determinan los fríos invernales. Después de algunos ensayos, el tipo que ha dado

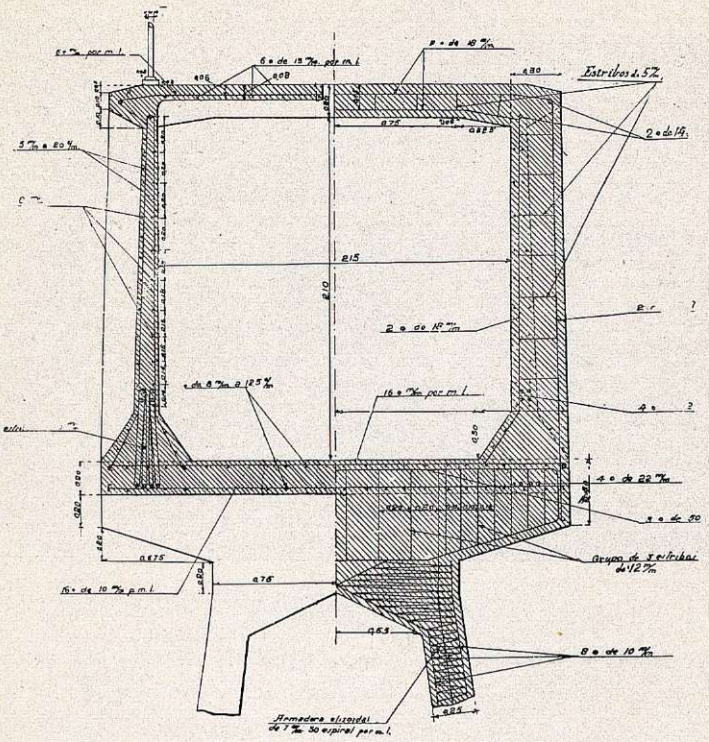


Fig. 308.—Tramos rectos de Almonaza

mejores resultados es el de la figura 309, colocándose en el centro de un tramo de cajero y en sus tres paredes.

El material empleado es el palastro, ensayándose ahora y muy satisfactoriamente una junta de bronce que evite la oxidación.

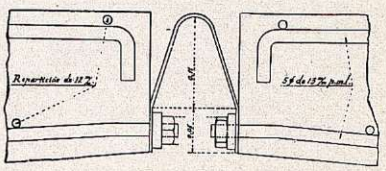


Fig. 309.

Acueducto sobre el Júcar, para la Sociedad Hidroeléctrica Española (fig. 310).—El canal tiene un gasto de 40 m³ por segundo.

Los arcos de 1,50 m. de anchura, 1,50 m. en la clave y 2 m. en los arranques, tienen 42 m. de luz y 10 m. de flecha, con directriz parabólica.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Sus armaduras son rígidas, lo que ha permitido su ejecución sin cimbra.

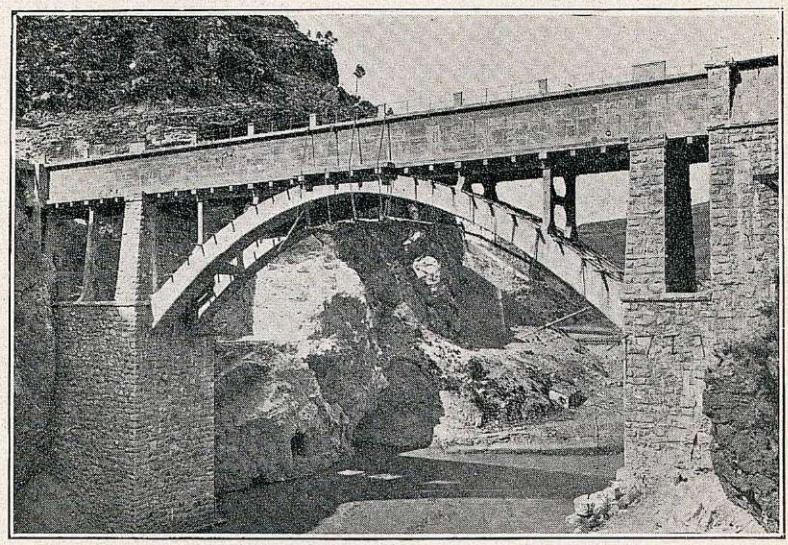


Fig. 310.—Acueducto sobre el Júcar.

Acueducto sobre el Mollasco (Italia).—Para un cajero de 1,95 m. de tirante de agua y 1,55 m. de ancho (1).

Dos arcos parabólicos de 50 m., con armaduras flexibles (figura 311).

En la clave del arco se ha dispuesto una junta de dilatación con una hoja de plomo plegada en semicírculo y empotrada en las paredes del canal, que al parecer se ha comportado bien.

Para un solo arco de 50 m. el autor hubiera preferido evitar la costosa cimbra y los moldes complicados que esa construcción exigió empleando las armaduras rígidas de los acueductos antes citados del Chorro y del Júcar, de 30 y 42 m. de luz, respectivamente.

(1) Detalles, en *Ponti in cemento armato,* Santarella. Lámina 83.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

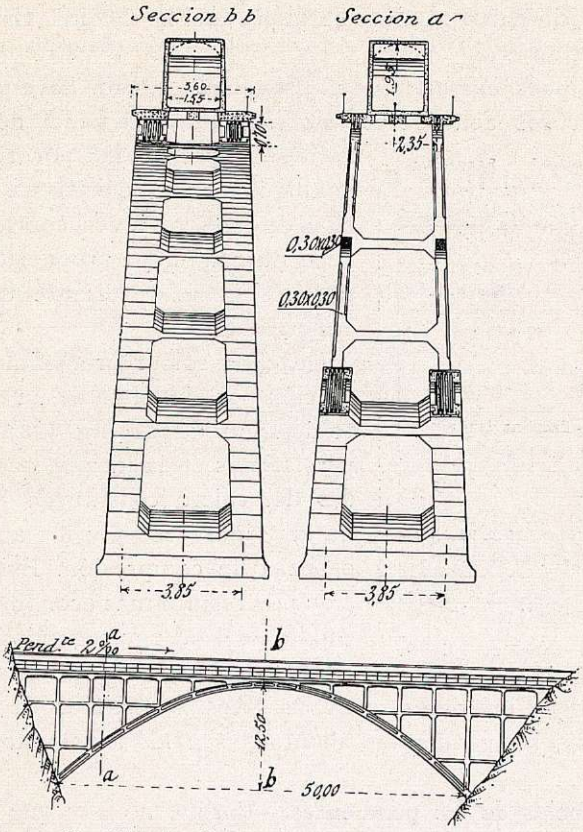


Fig. 311.—Acueducto sobre el Mollasco (Italia).

§ III.—CONCLUSIONES

Superioridad del hormigón armado.—La descripción de todos estos ejemplos demuestra que hoy día puede casi asegurarse que el hormigón armado es el material por excelencia para los acueductos, en cajeros, tramos rectos y arcos, por su evidente economía y rapidez de construcción, y que serán muy contados los casos en que pueda convenir construirlos con hormigón en masa y mamposterías.

Nos satisface además consignar que los ingenieros españoles no sólo fueron los primeros en aplicar el nuevo material a estas obras, sino que han concebido y realizado con gran éxito dispo-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

siciones originales y muy baratas, que no hemos visto aplicar en el Extranjero.

No es, pues, extraño que al proyectar el autor hace pocos años los numerosos acueductos que necesitará el canal del Taivilla (Murcia), para 4 m³ por segundo, y auxiliado con la entusiasta colaboración de nuestro joven compañero don José Barcala, haya propuesto tipos especiales como resultante de nuestra experiencia.

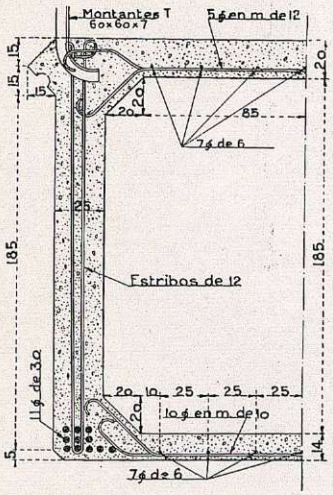


Fig. 312.—Canal de Taivilla.

De ellos sólo reproducimos aquí la sección por el centro de un tramo recto de 15 m. de luz (fig. 312), en el que persistimos en la idea de que las paredes del cajero constituyan los nervios de las vigas rectas y los andenes sus cabezas de compresión. Esta disposición nos resultó más económica para el caudal de 4 m³ por segundo que los tipos corrientes de cajero sobre el tablero, con vigas inferiores, para las luces, las alturas de rasante y, sobre todo, las pendientes adoptadas en los acueductos.

Influencias de las pendientes.—Porque no hay que olvidar lo que ya indicamos en el tomo III, página 81, al ocuparnos de las rasantes en los canales: *el factor pendiente permite modificar* las dimensiones y hasta la disposición general y las luces de los tramos de acueductos.

Como en los túneles.—En efecto: para un caudal determinado pueden adoptarse en los acueductos pendientes mayores que las del canal en ladera. En un gran número de casos conviene hacerlo así, por lo menos en los grandes túneles y en los acueductos largos, ya que al reducirse las secciones mojadas de unos y otros se ahorran cifras considerables en el coste de aquellas obras.

Pero estos aumentos de pendientes están limitados por otros dos factores:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

a) Las velocidades del agua, que no deben exceder de unos 2 m. por segundo, para que puedan resistirlas sin deterioro las superficies de las paredes y solera de los cajeros.

b) Estos aumentos de pendiente llevan consigo una mayor pérdida de nivel, que en muchos canales de riego o de fuerza reducen: o la extensión de la zona regada, o el número de kilowatios que se obtengan, cuando se trata de aprovechamientos eléctricos.

Hay, pues, que capitalizar estas pérdidas de beneficio, para sustraerlas de las economías teóricas obtenidas en las obras con la reducción de sus anchos y sobrecargas.

Son, por tanto, tanteos de gran interés que debe establecer el ingeniero para conseguir la solución financiera óptima, que será la que en definitiva permita precisar la pendiente del acueducto y sus consiguientes tipos y disposiciones.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

CAPÍTULO X

SIFONES DE HORMIGON ARMADO

§ I.—**Generalidades.**

Su historia.—Soluciones modernas.—Accesorios de los sifones.—Sus espesores.—Dosificación.—Impermeabilidad.—Tubos fabricados o centrifugados. Sus camas y juntas.—Puentes portasifones.—Puentes de tubos.

§ II.—**Ejemplos de sifones.**

Sifón del Sosa y Ribabona.—Sifón de Albelda.—Sifones del Guadalete.—Acueducto-sifón de Ríofrío.—Puente-tubo de Rocacrespa.—Sifón del Flumen.—Sifones del Salento.

§ III.—**Conclusiones.**

Tubos aislados o continuos.—Impermeabilidad.—Presiones aplicables al H. A. Influencia de las pendientes.—Comparación entre acueductos y sifones.—Resumen.

§ I.—GENERALIDADES

Su historia.—Los árabes, que tan inteligentes aplicaciones dieron a los canales de riego en Andalucía y Levante, fueron los primeros que, para evitar costosos acueductos para sus canales, imaginaron los sifones de fábrica para atravesar con ellos las barrancadas profundas.

Son vasos comunicantes, que construían generalmente de ladrillo; se conservan su mayor número, y nuestros labradores, y después

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

los ingenieros, aplican los sifones de una manera constante cuando con las carreteras o ferrocarriles cortan canales de riego (1).

Soluciones modernas.—Hoy suele ser más económico substituir los pequeños sifones de fábrica por tuberías forzadas de hormigón moldeado la mayor parte de las veces, ya que sus presiones no suelen exceder de 4 a 6 m. de carga.

Pero cuando con un canal de riego, de abastecimiento o de salto de agua (2) hay que atravesar grandes valles o barrancadas profundas, si se quieren evitar los acueductos, que suelen ser más costosos, hay que recurrir al empleo de sifones con tuberías forzadas, cuyas presiones exigen a su vez tubos de H. A. o de hierro (fig. 313 - A).

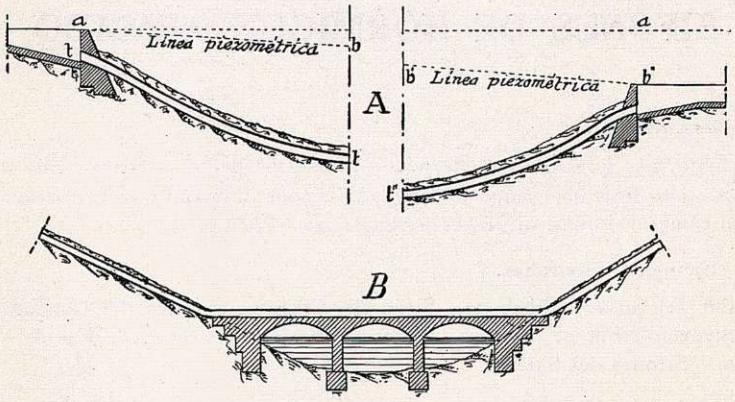


Fig. 313.

Empiezan y desembocan estos sifones en unas cámaras de fábrica *a* y *b''*; los tubos, que conviene enterrar, para substraerlos a los efectos de la temperatura exterior, siguen en lo posible las inflexiones del valle.

Cuando el sifón tiene que atravesar un río, se colocan los tubos sobre un puente portasifón (fig. 313 - B).

Asimismo, si no se quieren someter las tuberías sino a una deter-

(1) En el tomo I, pág. 225, ya nos ocupamos de estas pequeñas obras.

(2) Para canales de navegación, las depresiones de terreno obligan a establecer *esclusas,* cuyo estudio forma parte de la clase de *Canales,* por lo que nada decimos aquí sobre estas obras.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

minada presión, se construyen *puentes portasifones, cuyas rasantes coincidan con la línea piezométrica correspondiente a dicha presión máxima, y sobre esas obras se apoyan los tubos.*

Elementos accesorios.—Las cámaras de entrada y salida se construyen con muros y soleras corrientes, abocinándolos con el mayor volumen posible, para que haya siempre una gran masa de agua que sirva de volante a su absorción por el tubo y evite que en ésta entre el aire, determinando posibles golpes de ariete; en la cámara de salida no precisa tan gran abocinamiento.

En las cámaras de entrada deben disponerse *compuertas* de tubos que puedan cerrar la entrada del agua en ellos; *aliviaderos* por los que se viertan las aguas sobrantes, y *compuertas y llaves de fondo,* para poder vaciar la cámara de entrada; por último, en las zonas más bajas de los sifones (puede haber varias, cuando se atraviesan hondonadas sucesivas), se disponen *llaves de descarga,* de los tipos corrientes para tuberías metálicas, con sus correspondientes *caños o tajeas de desagüe.*

Tuberías de H. A. (1). — Aunque hasta 10 metros de presión podría prescindirse de armaduras en los tubos, conviene armarlos ligeramente en toda su longitud, para que soporten los golpes de ariete que puedan producirse a pesar de todas las precauciones.

Hay muchos tipos de tubos, algunos patentados, pero cuyos privilegios caducaron ya.

Sus armaduras.—La disposición de armaduras corrientes es con aceros redondos: *las directrices* de 7 a 10 cm. de distancia y con secciones variables con las presiones; las *generatrices,* que son sólo de arriostramiento durante el moldeo y de distribución de las

(1) Los estudiamos aquí (aunque parezca a primera vista más propio su estudio del curso de canales), porque un proyecto de las obras de fábrica de una vía hidráulica lleva consigo la comparación de los acueductos propiamente dichos con los sifones o puentes-sifones; en todo caso, siempre servirá para completar lo que sobre estas tuberías se exponga en el curso de canales, y perdónenos su distinguido profesor si con ello invadimos su campo por mor de los detalles que mi experiencia personal en esta materia me permite añadir a lo ya conocido por todos los Ingenieros.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

presiones interiores durante su explotación, suelen ser redondos que se disponen a distancia de 10 a 15 cm.; ambas armaduras se enlazan con el alambre indispensable para la sujeción durante el apisonado.

El ingeniero francés M. Bonna, que desde hace treinta años se dedicaba a esta especialidad, empleaba aceros en T para las directrices e intercalaba además dentro del hormigón una camisa de chapas de palastro, pegadas con soldadura autógena, para asegurar su impermeabilidad (1).

El cálculo de estas armaduras no puede ser más sencillo, pues se determinan sus secciones con la fórmula empleada para las calderas:

$$F = \frac{1}{2} p D$$

En la que p es la presión por unidad superficial, D el diámetro interior y F el esfuerzo en las directrices.

Admitiendo un trabajo para el acero de 8 kg/mm², se distribuye la tensión por 1 m. en 12 a 14 barras, pero no más.

Para las armaduras longitudinales, o de generatrices, se suele adoptar una sección total que sea la mitad de las directrices circulares.

Para no variar de una manera continua las armaduras, se dividen los tubos en varios tipos para presiones de 5 en 5 metros a lo sumo, de 10 en 10 metros muchas veces.

Sus espesores.—Como el hormigón de estos tubos sólo tiene por objeto aprisionar la armadura y obtener la impermeabilidad, los espesores que se les da son los que prácticamente convengan para que los hierros estén perfectamente recubiertos y que sean suficientes para un fácil y seguro moldeo y para resistir el terraplén con que se les debe recubrir, para substraerlos a los efectos de la temperatura.

Los espesores dependen también de sus diámetros, de las dosificaciones de la mezcla y del tamaño de las gravillas que se empleen o de que se disponga.

(1) Ya daremos nuestra opinión sobre este sistema al describir más adelante los sifones del Sosa y de Albelda.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Se emplea con frecuencia la fórmula empírica preconizada por Espitalier (1):

$$e = 3\ (D + 0{,}70),$$

en la que e es el espesor en centímetros y D el diámetro en metros.

Dosificaciones.—La más general es la de 350 kgs. de cemento por m³ de hormigón, que debe aumentarse a 400 kgs. desde 25 m. de presión en adelante.

El cemento, arena y gravillas deben reunir las condiciones generales del H. A. (2).

Algunos constructores prescinden de la gravilla y emplean sólo arenas más o menos elegidas, para facilitar el moldeo, con morteros casi flúidos de 300 a 400 kgs. de portland por m³ de arena; el autor prefiere la adición de gravilla, que aumenta la impermeabilidad y resistencia y atenúa las contracciones por el fraguado y el frío.

Impermeabilidad.—La que se persigue no es la absoluta, pues sería casi imposible de evitar exudaciones, sobre todo en los primeros meses de servicio; se obtiene la suficiente en la práctica con un buen enlucido interior de mortero de portland de 400 a 500 kgs. por m³ de arena, según las presiones; no conviene que este enlucido sea muy grueso, pues se contrae y despega fácilmente en cuanto excede de 10 mm. de grueso; basta con 2 a 5 mm., pero bien fratasados con una paleta encorvada.

Al cabo de muy pocos meses las partículas sólidas que siempre contiene el agua colmatan la porosidad que pueda quedar en los tubos.

En los tubos de diámetro inferior a 0,75 m. el enlucido es difícil de aplicar de una manera eficaz, por lo que es necesario entonces aumentar la dosificación del hormigón del tubo a 400 y 450 kgs. de cemento.

---

(1) *Cours de béton armé,* libro I, pág. 303. Editado por l'Ecole Spéciale de Travaux publics, 1925.

(2) Véase apéndice núm. 2 del tomo I. *Condiciones facultativas generales* aplicables a todas las obras de H. A.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Tubos en moldes o centrifugados.—Para diámetros hasta 0,80 m., se fabrican hoy en talleres instalados *ad hoc*.

La mayor parte se fabrican con dobles moldes verticales de palastro, de 1 a 3 m. de altura, entre cuyas paredes se vierte y se apisona la mezcla húmeda, pastosa o flúida del hormigón que se emplee.

En estos últimos años se han establecido en España fábricas que *centrifugan* el mortero dentro de unos moldes metálicos y horizontales; el procedimiento es original, se obtienen tubos perfectamente calibrados y de mayor impermeabilidad que los fabricados en moldes verticales.

Sus camas y juntas.—Conviene que estos tubos se apoyen sobre camas de hormigón pobre de unos 180 kgs., continuas o en piezas aisladas.

El autor las prefiere continuas y con la forma que se representa en los ejemplos que luego describiremos.

Respecto a las juntas, las opiniones están divididas.

Para diámetros inferiores a 0,80 m. y presiones inferiores a 25 m., no hay ningún inconveniente en fabricar los tubos en taller y colocarlos sobre camas, empalmarlos con anillos de H. A., rejuntándolos con mortero rico o mezclas asfálticas más o menos perennes y eficaces.

A partir de 0,80 m. de diámetro es preferible fabricar *in-situ* y se pueden construir los tubos en piezas de 2 a 4 m. o ejecutarlos sin juntas.

Como las juntas constituyen una dificultad y un peligro de grandes fugas (no de rotura de la tubería), el autor, después de la experiencia obtenida en los sifones del Sosa y de Albelda, que luego describiremos, se pronuncia por la tubería continua sin juntas, mientras no se invente una junta económica y segura.

Puentes porta-sifones.—Nada de particular ofrecen estas obras, que son unos acueductos que, en lugar de tener un cajero, soportan sobre su plataforma el peso de los tubos del sifón.

Pueden ejecutarse de hormigón en masa, como el del río Sosa, que describiremos luego, y como proyectamos para el Canal del Taivilla (fig. 314).

Estas secciones corresponden a un puente sobre el río Argos,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

con arcos de 30 m. de luz, rebajados al 1/6, y armaduras rígidas de nuestro tipo.

Pueden también construirse con tramos rectos de H. A. y palizadas, iguales a los acueductos antes descritos, sujetándose los tubos sobre el tablero.

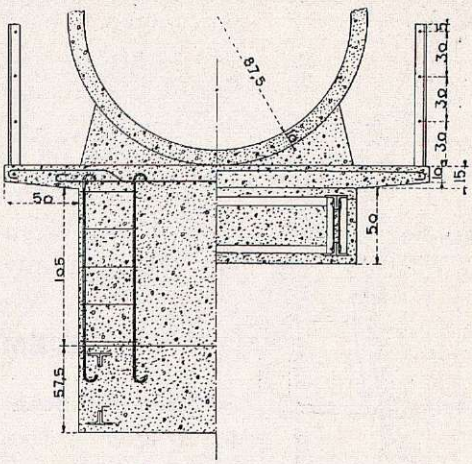


Fig. 314.—Puente porta-sifón para el canal de Taivilla.

Ofrecen todos un inconveniente, que también es propio de los acueductos, pero más importante en estos puentes: el de que durante las crudezas del invierno que contraen todas las fábricas y más visiblemente los hormigones (en los que se integran y localizan estas contracciones en unas grietas arbitrarias), se producen fugas de alguna importancia; pueden éstas atenuarse con reparaciones, pero suelen reproducirse y no hay más remedio que soportarlas.

Puentes de tubos.—Nuestro distinguido compañero D. Pedro González Quijano ha aprovechado la resistencia de los tubos a la

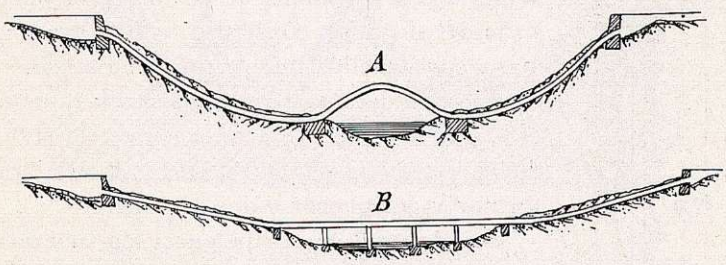


Fig. 315.

compresión en el sentido de su eje, para utilizarlos como arcos, constituyendo con ellos el propio puente (fig. 315 - A).

Pero también hemos visto en el capítulo anterior que puede utilizarse la resistencia de los tubos de hormigón armado a la flexión

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

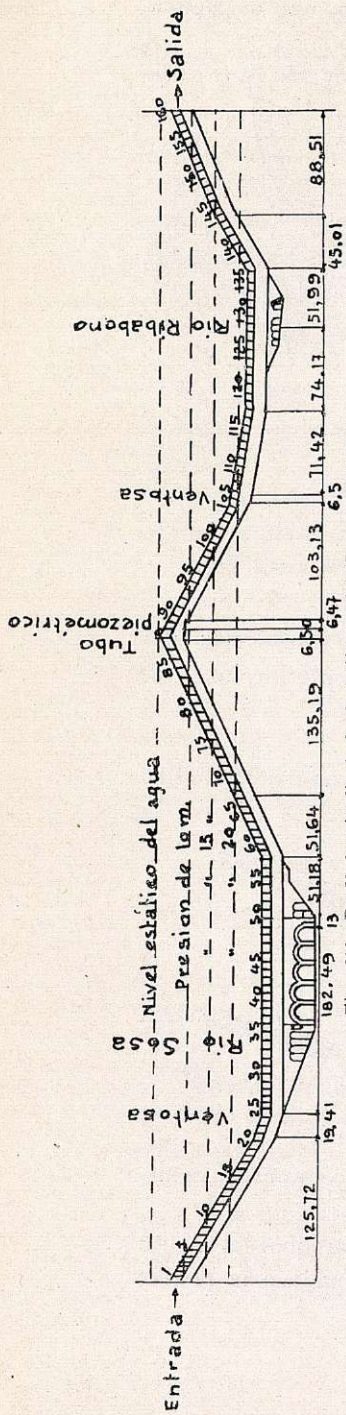


Fig. 316.—Perfil longitudinal de los sifones del Sosa y Ribabona.

para constituir con ellos sus propios tramos rectos sustentadores (fig. 315 B). Lo mismo pueden servir de acueductos que de puentes para sifones. Con ambas soluciones, sobre todo con esta última, que permite el empleo de pequeños tramos, pueden atravesarse muchos ríos con obras económicas.

Describiremos algunos ejemplos de todos estos tipos de sifones y puentes, clasificándolos por orden de antigüedad, ya que todos ellos son tan interesantes como originales.

§ II.—EJEMPLOS DE SIFONES

Sifón del Sosa y Ribabona, para el Canal de Aragón y Cataluña, próximo a Monzón (Huesca). Ingenieros, director y encargado: Don Rogelio Inchaurrandieta y D. Rafael López Sandino.

Se anunció el concurso de proyectos y ejecución en 1903. Se trataba de una obra excepcional por sus dimensiones e importancia; dos tubos de 3,80 m. de diámetro interior y 1.018 m. de longitud, para 35 m³ por segundo, sometidos a presiones de 28 m. en el puente-sifón del río Sosa, construido con hormigón en masa por aquellos ingenieros del Estado.

El sifón del Sosa constituía la clave de todo el Canal, en el que habían ya invertido 30 millones de pesetas, y cuyos riegos iban a transformar y enriquecer a dos provincias.

Se admitían en competencia las tuberías de hierro y las de H. A., aunque no existían ejemplos de que se hubiese aplicado el entonces nuevo material a longitudes, diámetros y presiones, ni semejantes siquiera.

Los ingenieros del Canal y la Dirección de Obras públicas dieron la preferencia al proyec-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

to del autor, que resultaba bastante más barato que la solución metálica propuesta por una reputada fábrica.

La solución que propusimos (figs. 316 a 321) consiste en dos

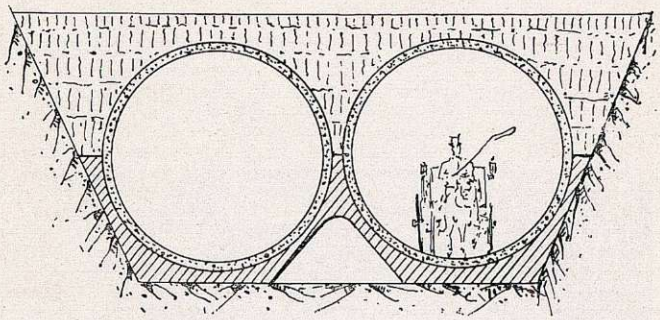


Fig. 317.—Sección transversal en trinchera.

sifones gemelos de 1.018 m. de longitud y 3,80 m. de diámetro, cada uno de ellos constituído por 160 tubos de 6,50 m. de longitud.

En los dos valles del río Sosa y del río Ribabona, que sucesi-

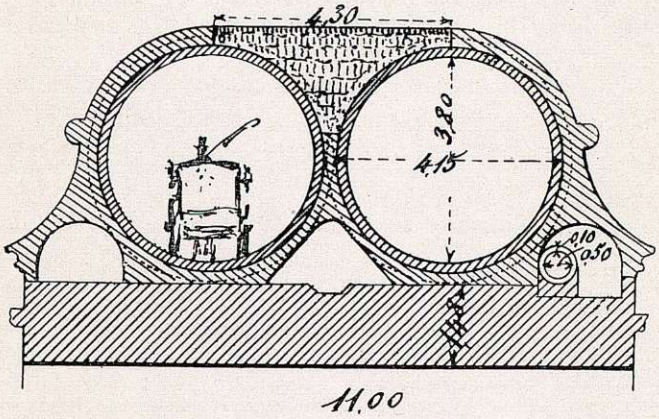


Fig. 318.—Sección transversal en el puente del río Sosa.

vamente atravesaba el sifón (fig. 316); se colocaban los tubos en trinchera sobre una cama de hormigón pobre y se recubrían con terraplén para aislarlos de la temperatura (fig. 317).

El paso del río Sosa (figs. 318 y 319) se realizaba sobre el hermoso puente de hormigón en masa proyectado por el Sr. López

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Sandino, y el del río Ribabona sobre un grupo de pontones de 4 m. En la divisoria de ambos ríos proyectamos unos tubos piezométricos que actuasen como ventosas.

Los tubos se empalmaron por juntas de H. A. y mástic asfálti-

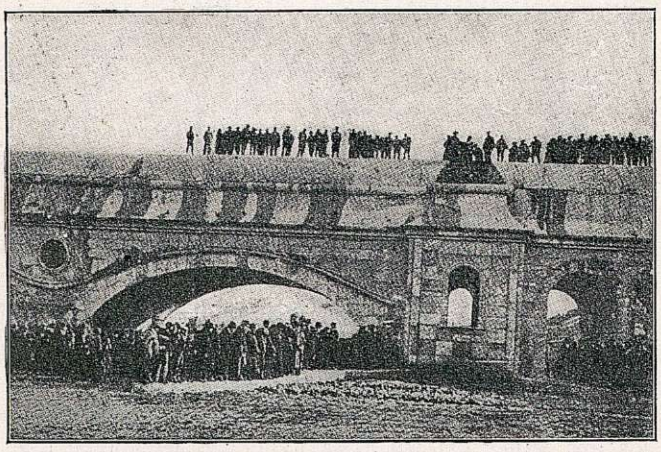


Fig. 319.—Inauguración del sifón por el Rey y el Ministro de Fomento D. Rafael Gasset.

co (fig. 326), del sistema Bonna, antes citado, que por entonces nos parecían ofrecer mayores garantías. Las barras directrices de resistencia eran hierros T con secciones crecientes de 5 en 5 metros de presión.

La impermeabilidad se confiaba á una camisa interior de palastro, cuyas chapas debían soldarse autógenamente, evitando su oxidación con otra camisa de mortero rico, también *armado,* de 22 mm. de grueso.

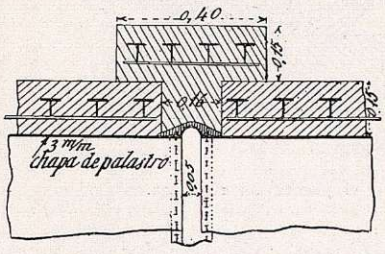


Fig. 320.—Junta de los trozos de tubo.

La soldadura de estas chapas, que por tener sólo 3 mm. de grueso se ovalizaban por el propio peso de los tubos, abriéndose numerosas juntas, nos produjeron enormes dificultades, que hubimos de resolver gracias al apoyo de los Ingenieros inspectores Sres. Inchaurrandieta y Sandino, que nos permitieron substituir la soldadura por el

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Fig. 321.—Construcción del sifón del Sosa y Ribabona.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

roblonado (1). A pesar de la supresión de la soldadura, las pruebas de este sifón por el Rey y el Ministro de Fomento, el 3 de marzo de 1906 (figura 308), sólo acusaron pequeñas filtraciones en algunas juntas sobre el puente del Sosa, y desde entonces presta servicio constante y satisfactorio.

La figura 321 da idea de las proporciones de esa obra, que en aquella época produjo gran expectación.

Sifón de Albelda, para el Canal de Aragón y Cataluña.

El éxito del sifón del Sosa hizo indiscutible la adopción del H. A.

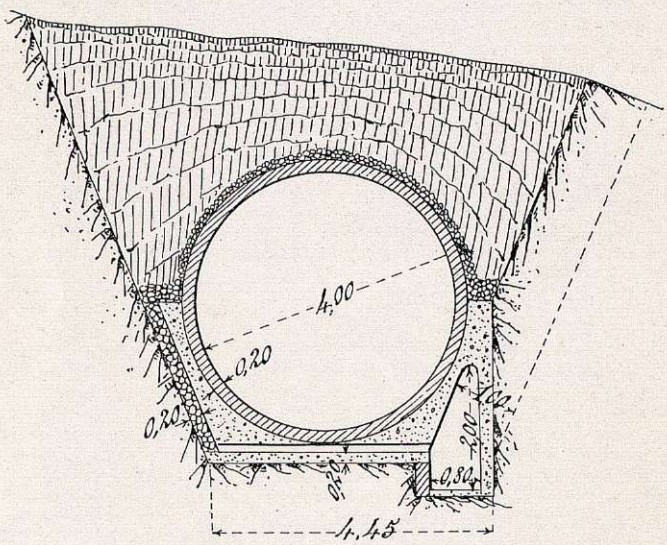


Fig. 322.—Sección del sifón del Albelda.

para otro sifón del mismo canal, que en una de sus principales acequias tenía que conducir 18 m³ por segundo a través de un valle extenso de 720 m. de anchura, con 30 m. de presión máxima.

(1) Las múltiples incidencias y dificultades de la construcción se resumen en un artículo de D. Mariano Luiña, ingeniero de la Sociedad J. Eugenio Ribera y Cía., que dirigió la mayor parte de aquellas obras (excepcionales por su importancia y velocidad de construcción) en un artículo de la *Revista de Obras Públicas* del 1.° de marzo de 1906, y con más detalle, siete artículos del mismo año y Revista, escritos por el citado Ingeniero, y otro artículo del autor de *Ingeniería y Construcción,* de noviembre de 1930.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En el Concurso de Proyectos y ejecución que se anunció a tal efecto, también la Dirección de Obras públicas eligió la proposición de la Sociedad J. Eugenio Ribera y Compañía, que ejecutó las obras sin el menor contratiempo con arreglo a su proyecto (figuras 322 a 324).

Aleccionados por las dificultades que hubimos de vencer muy

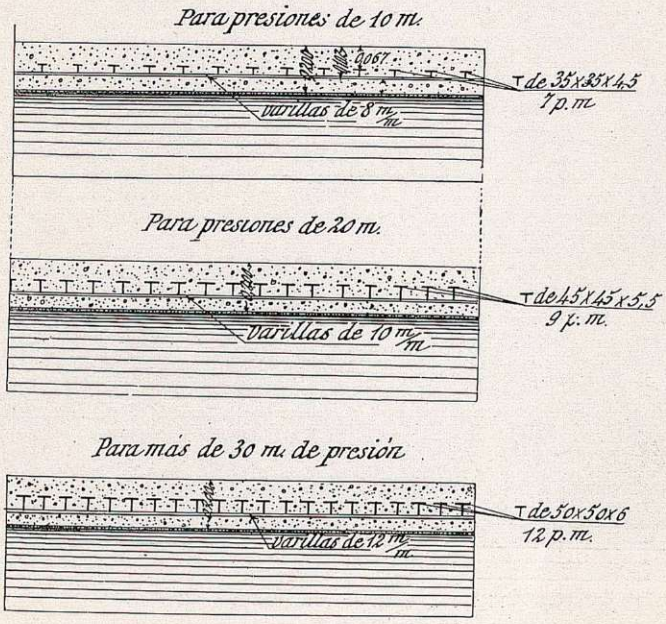


Fig. 323.—Armaduras del sifón de Albelda.

costosamente con los tubos sistema Bonna del sifón del Sosa, simplificamos radicalmente el de Albelda.

Suprimimos por inútil para la impermeabilidad la chapa intermedia de palastro y la camisa interior de mortero armado, substituyéndola por un simple enlucido interior de mortero 1 × 3.

Pero además, y esta fué la más radical modificación, *suprimimos todas las juntas, construyendo el tubo continuo,* porque aquellas tan decantadas juntas Bonna, costosas y delicadas, nos dieron algunas fugas, que se reproducen de cuando en cuando en la zona del puente-sifón.

Como se observa en la figura 322, habíamos previsto una galería de

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

drenaje a lo largo de todo el tubo; pues bien, a pesar de que el diámetro de 4 m. de este sifón es superior en 0,20 m. a los tubos del Sosa, que la presión alcanza 30 m. y de la substitución de las dos camisas impermeables de aquel sifón por un simple enlucido de port-

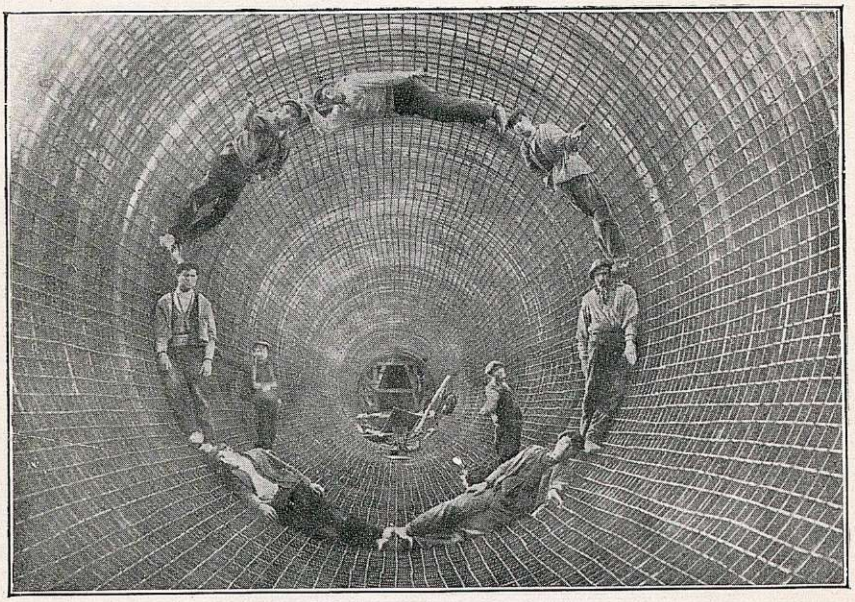


Fig. 324.—Interior del sifón de Albelda.

land, desde hace veintidós años que funciona el sifón de Albelda, no se han observado en su tubo continuo, ni grietas de contracción, ni siquiera filtraciones, que se hubieran acusado en la tajea de desagüe establecida en el punto bajo de la galería de drenaje (1).

Sifón del Guadalete.—El año 1922 se construyeron para el canal del Guadalcacín dos sifones invertidos iguales y sucesivos (fig. 325) sobre los ríos Guadalete y Majaceite, con las siguientes características:

(1) Las obras de este sifón fueron también dirigidas por D. M. Luiña, ingeniero de la Sociedad Constructora J. Eugenio Ribera y Cía. En el número de 20 de abril de 1910 de la *Revista de Obras Públicas* publicó el autor algunos detalles de su ejecución y de la cámara de descarga.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Luz entre estribos de la curva directriz del arco, 40 m.; flecha del mismo, 18 m.

Espesores del tubo, 40 cm. en aranques y 18 cm. en la clave.

El autor del proyecto (1) dió a la curva directriz la forma pre-

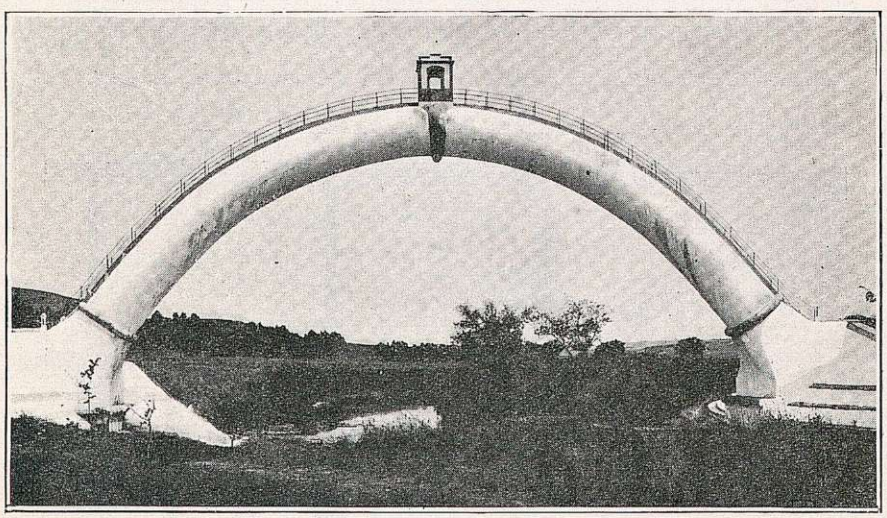


Fig. 325.—Sifón del Guadalete (Cádiz).

cisa para poder resistir las cargas normales del peso propio y del agua.

Es una disposición que, aunque se ha aplicado en algunos casos con tubos metálicos, ofrece la originalidad de utilizar el hormigón, que no trabaja en los sifones, para resistir a las compresiones de los arcos portadores del agua.

Acueducto-sifón de Riofrío (fig. 326).—Para el Salto en Villalba, la Eléctrica de Castilla (S. A.) necesitó atravesar, con un canal de 10 m³ por segundo, la profunda barrancada de Riofrío, con la servidumbre forzosa de flotación, para que por el canal pudieran seguir transportándose las maderas explotadas en el valle.

(1) Proyecto y dirección de las obras por el ingeniero jefe y académico de Ciencias A. Pedro González Quijano, que publicó un muy interesante artículo sobre esta obra en la *Revista de Obras Públicas*, año 1923, pág. 231. Colaboraron en estas obras los ingenieros Sres. Goded, Sánchez Guerra y Serret, y el constructor Sr. Távora.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Entre las muy diversas y originales soluciones estudiadas (1) se adoptó la de un puente porta-sifón de fábrica, sosteniendo un acueducto metálico para el canalillo de flotación.

La plataforma del puente tiene un ancho de 6,00; sobre ella se apoyan *los dos tubos metálicos* del sifón, de 1,90 m. de diámetro.

Sobre las pilas-estribos del puente se apoyan a su vez las pilas

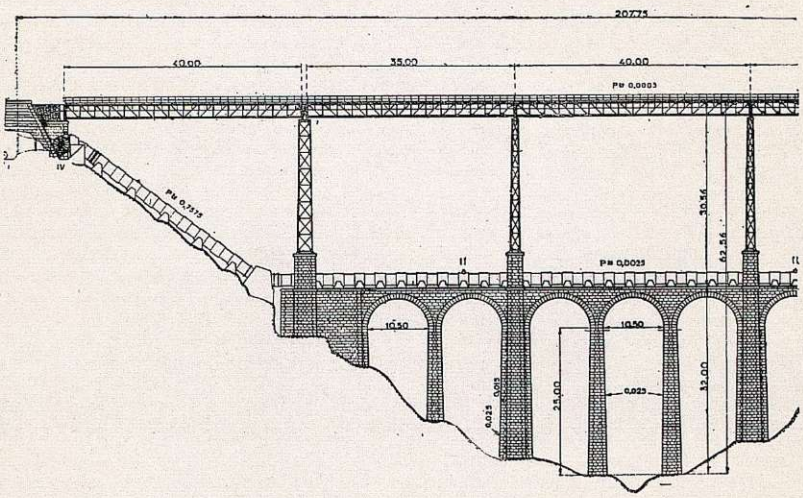


Fig. 326.—Sifón acueducto de Riofrío.

metálicas del canalillo de flotación, que es un cajero de palastro de 1,50 de ancho por 0,90 m. de altura, que empalma con las cámaras de fábrica de llegada y salida del acueducto, por medio de juntas metálicas de fuelle, que permiten su libre dilatación, con independencia del puente en que se apoyan.

Los tramos metálicos que soportan el canal, con vigas tipo Pratt, son dos tramos extremos e independientes de 40 m. y una parte central continua de tres tramos de 35 m. los dos extremos y 40 m. el central.

Se había pensado en soluciones de H. A. para toda la construcción, que creemos podían ser más económicas; pero las nieves y hela-

(1) Que se detallan en un documentado artículo de *Ingeniería y Construcción* de Enero de 1927, redactado por el ingeniero D. Carlos Botín. La construcción, rapidísima, que ofreció especiales dificultades, honra a la casa E. Grasset, que la realizó.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

das persistentes de aquella alta región hubieran retrasado la obra, que siendo metálica en gran parte, permitió su fabricación en talleres y un rápido montaje en obra.

Puente-sifón de Rocacrespa, sobre el río Foix (fig. 327).—Para pasar el cauce de este río, el ingeniero jefe D. Enrique G. Granda utilizó la tubería del sifón de 0,70 m. de diámetro de H. A., con paredes de 6 cm., para salvar cinco tramos de 10 m. de longitud de eje a eje, con carga piezométrica de 15 m. y una longitud total del sifón de 150 metros (1).

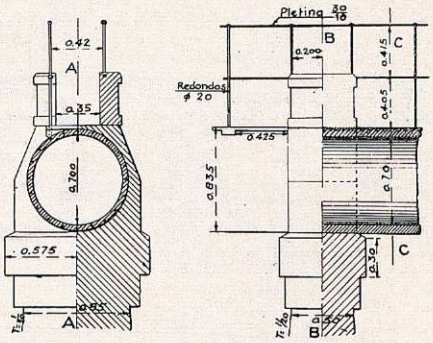


Fig. 327.—Puente-sifón de Rocacrespa.

Cuando convenga establecer una pasadera de servicio para el canal, utilizable a la vez por el público, basta moldear sobre la tubería una ligera losa armada, sostenida en sus bordes por mensulillas.

Sifón sobre la Acequia del Flumen, para la Confederación Hidrográfica del Ebro (fig. 328).—*Características:*

Longitud	1.600	metros.
Diámetro del tubo (interior)	2,60	—
Caudal	8,00	m^3/sg.
Velocidad del agua	1,66	m/sg.
Carga piezométrica máxima	15,00	metros.

Este sifón, importante por su longitud y diámetro, atraviesa el río Flumen con los tubos formando puente, con tramos rectos de 15 m. de eje a eje de apoyo.

La flexión de los tubos cargados de agua, a razón de 5.309 kilogramos por metro lineal, está resistida por las cuarenta y cinco barras redondas y de 26 mm. que *longitudinalmente* se distribuyen en el centro del hormigón; resulta muchísimo más económico añadir esas

(1) Detalles y cálculo de estos tubos, en la *Revista de Obras Públicas* de 1928, pág. 145. *Acueductos sifones,* por D. Enrique G. Granda.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

barras, que pesan 188 kgs. por metro lineal, que cualquier tipo de tramo recto o arco.

Sobre las pilas se han dispuesto rodillos de acero y en los extremos del sifón juntas de dilatación de cobre para contrarrestar los efectos de la temperatura.

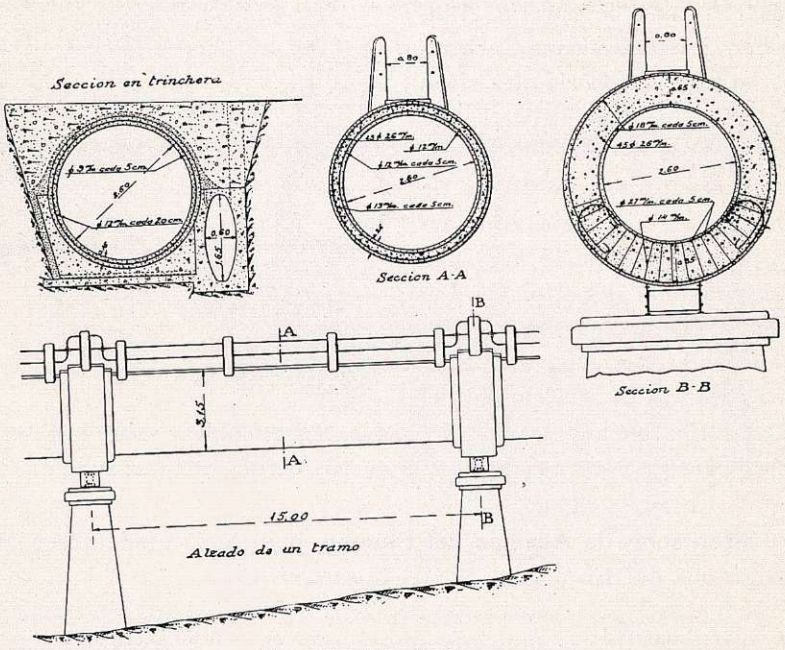


Fig. 329.—Sifón del Flumen.

Fuera del río, el tubo va en trinchera y se apoya sobre una cama de hormigón pobre, que lleva al costado una tajea longitudinal de drenaje; el terraplén que recubre el estribo lo substrae, casi en absoluto, a las dilataciones y contracciones de cambios de temperatura.

Gran sifón del Salento (1).—Está constituído por un sifón principal de *39 kilómetros* con tubería de H. A., del que arrancan otros sifones secundarios, algunos de ellos de 31 y 33 km.

(1) Corresponde al llamado Acueducto Pugliese, en el Sur de Italia, el más largo del mundo, pues mide 244 kilómetros de canal y 1.600 kilómetros de tubería, para un gasto de 5,5 m³, y varios túneles de 5 a 6 kilómetroos, atravesando el extremo sur de la cordillera de los Apeninos. (Detalles, en *Engineering* de julio a diciembre de 1928.)

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Los tubos del sifón principal son de H. A. en toda su longitud, con diámetros variables entre 0,70 y 1 m., y presiones máximas de 40 m.

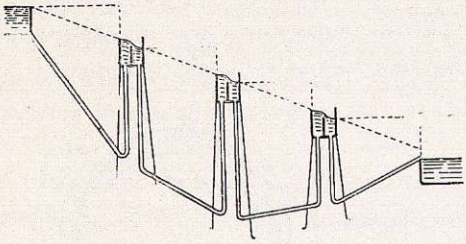


Fig. 329.

En los ramales secundarios, aunque dominando los tubos de H. A., con presiones que alcanzan 55 m., se han colocado en algunas secciones tubos de fundición o *eternit* (que en España llamamos *uralita)*.

Para subdividir tan colosales longitudes de sifón, y sobre todo para evitar los golpes de ariete en todas las bifurcaciones de sifones, que suelen coincidir con puntos altos del terreno, se han elevado unas torres de H. A. con un depósito (figs. 329 y 330) a la altura de la línea de carga piezométrica, dividida por un tabique en dos compartimientos. Cuando el agua alcanza en el compartimiento de llegada el borde del tabique divisorio, vierte en el segundo compartimiento y llena el sifón siguiente.

En los extremos del canal se disponen grandes depósitos que sirven de volantes reguladores del consumo (fig. 329).

Los tubos de H. A. se han fabricado todos en taller y se apoyan en sus juntas sobre unos dados ligeramente armados (fig. 331).

Para las juntas se han empleado dos disposiciones: en unas tuberías (como se ve en la figura anterior) son bridas de H. A.; en otras (las ejecutadas por la reputada

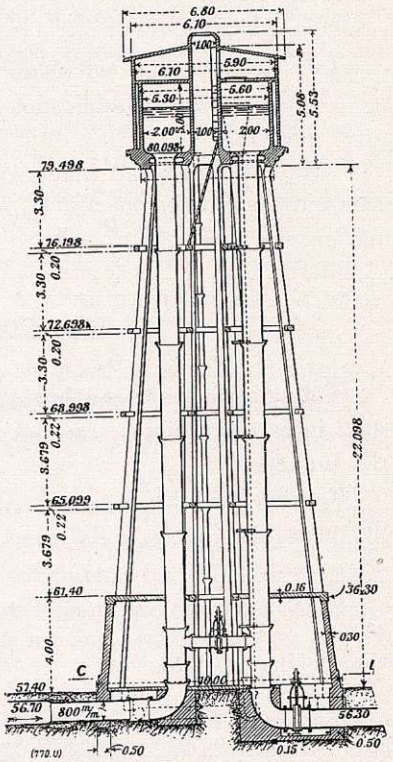


Fig. 330.—Torre piezométrica.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

casa Vianini & Comp.), los tubos son de enchufe y cordón, parecidos a los corrientes de fundición, y se empalman con éstos, pero con mezclas sucesivas de cemento fibroso (suponemos que mezclado con amianto, como la uralita), plomo amartillado y filástica embreada.

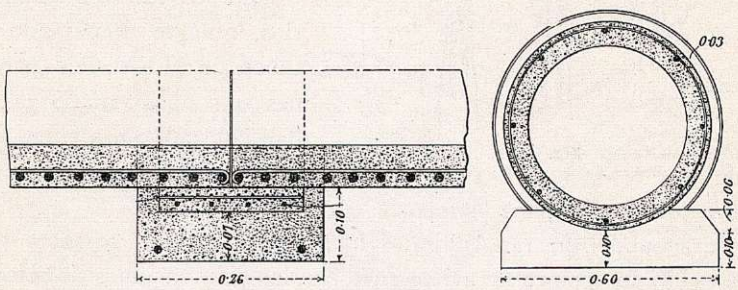


Fig. 331.

Los tubos se han calculado con unos ábacos del ingeniero señor D. Aquiles Cusani, publicados en *Giornali del Genie Civile,* 1923, fasc. IX (1).

Estas obras se han inaugurado el año 1930 y van abriéndose al servicio sucesivamente los trozos de canal a medida de su terminación.

§ III.—CONCLUSIONES

Tubos aislados o continuos.—Los sifones del Sosa y de Albelda, que antes describimos, continúan siendo, que sepamos, los mayores del mundo.

Representan las dos tendencias de fabricantes y constructores; de tubos con juntas, o de tubos continuos sin juntas.

(1) Detalles muy interesantes de construcción, en un libro del Ingeniero director de aquellas obras, que con el título *Il grande sifoni del Salento* se publicó en Bari en 1928.

Significo aquí mi felicitación y agradecimiento a mis distinguidos colegas el profesor Eduardo Orabona y el ingeniero Sr. Cusani, por la remisión de una prolija documentación sobre estas obras tan excepcionales, cuyos folletos entregué a la Biblioteca de la Escuela de Caminos, y que tiene el título *Ente autónomo per l' acquedotto Pugliese. Relazione al Parlamento.* Años 1924 a 1930.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

La experiencia de los veinticinco años transcurridos ha fallado a favor del tubo más sencillo y sin chapas interiores y sin juntas.

De ello se infiere que siempre que por circunstancias especiales no sea indispensable fabricar los tubos en taller, será preferible construirlos *in-situ* y continuos.

Impermeabilidad.—Asimismo la experiencia demuestra que hasta presiones de 40 m. basta un simple enlucido interior para conseguir la impermeabilidad, siempre y cuando quede el tubo recubierto por un terraplén de 0,50 m. de altura mínima, que substraiga el hormigón a los efectos de la temperatura.

Presiones aplicables al H. A.—Se han construído sifones hasta 55 m. de presión, que es la admitida en el sifón del Salento, aunque suponemos que podrán alcanzarse cargas de 60 m. sin filtraciones perjudiciales.

Para mayores presiones parecen más prudentes las tuberías metálicas; pero si, como opina el autor, conviene evitar los inconvenientes de estos tubos de hierro, oxidables y de mayor sensibilidad a los cambios de temperatura, y sobre todo más caros, deben suprimirse, *construyendo ligeros puentes porta-sifones* de H. A. en la parte inferior de los valles y con rasante de tablero a 50 m. por debajo de la línea piezométrica del sifón. La economía obtenida por la supresión de los tubos metálicos con más de 50 m. de presión, suele casi siempre superar al coste del puente porta-sifón de H. A., o de puentes-tubos, o en tramos rectos, o en arco, como en los ejemplos anteriormente descritos.

Así lo hemos podido comprobar en nuestros proyectos de varios sifones del canal de Taivilla, en los que, con puentes porta-sifones de coste reducido, pudimos suprimir totalmente las tuberías metálicas, no quedando así más que sifones de H. A. con 40 m. de presión máxima.

Influencia de las pendientes.—Ya en el capítulo anterior llamamos la atención sobre la influencia que tienen las pendientes que se adopten para el cajero de los acueductos, en el tipo, en las luces y hasta en las disposiciones de estas obras.

No es menor su influencia en los sifones, pues la pendiente es la

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

que fija el diámetro de los tubos y el tipo y dimensiones de los puentes porta-sifones.

También en los sifones la velocidad del agua debe limitarse a un máximo de 2 m. por segundo, y asimismo los aumentos de pendiente reducen el nivel aprovechable del agua, ya sea para riegos, ya para energía eléctrica.

Deben, pues, fijarse los diámetros por tanteos, dentro de aquellas limitaciones, porque una economía aparente en el coste de los sifones por reducción de su diámetro puede resultar onerosa en la explotación del canal, por la correspondiente pérdida de nivel que aquélla produce.

Comparación entre acueductos y sifones.—Tampoco es fácil, ni intuitiva, la elección entre un acueducto y un sifón, pues hay muchos casos en que se presenta la duda, sobre todo para los ingenieros novatos en esta especialidad, cuando no a los veteranos.

Deben, pues, casi siempre tantearse unas y otras soluciones, sin olvidar que si bien los sifones para iguales velocidades del agua permiten mayores pendientes que los acueductos, en cambio aumentan las pérdidas de nivel para riegos o fuerza.

Son problemas en que la hidráulica, la construcción y la finanza deben conjuntarse y que merecen reflexivo estudio para un ingeniero consciente de sus deberes de gestor.

Sentimos que la obligada parquedad de este libro, ya demasiado extenso, nos impida extendernos sobre estos muy importantes problemas. Confiamos, sin embargo, en que nuestros lectores se percatarán de las consecuencias económicas de las anteriores observaciones.

Resumen. — La gran variedad y el éxito de los ejemplos que acabamos de examinar, debidos en gran parte a ingenieros españoles, evidencian, sin embargo, las ventajas de los sifones de H. A. que en muchos casos resultarán más económicos que los acueductos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CAPÍTULO XI

PUENTES OBLICUOS, EN CURVA Y EN RAMPA

§ I.—**Puentes oblicuos.**

Aparejos del siglo XIX.—Con bóvedas de hormigón.—Con arcos o bóvedas de H. A.—Con bóvedas rectas sobre apoyos oblicuos.—Con arcos gemelos. Con tramos rectos de H. A.

§ II.—**Puentes y viaductos en curva.**

§ III.—**Viaductos en rampa.**

§ IV.—**Conclusiones.**

§ I.—PUENTES OBLICUOS

Aparejos del siglo XIX.—La construcción de ferrocarriles, al imponer muchos trazados oblicuos al río, obligaba a los ingenieros a proyectar disposiciones nuevas para los puentes de fábrica, para los que no convenían ya las pilas y bóvedas rectas empleadas exclusivamente hasta la primera mitad del siglo XIX.

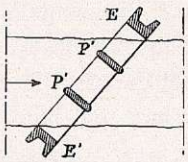


Fig. 332.

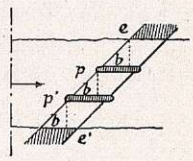


Fig. 333.

En efecto: los puentes oblicuos del tipo antiguo (fig. 332) reducirían sensiblemente el desagüe del río, por el obstáculo que a la corriente oponen las pilas P P'.

La consecuencia que se impuso fué de proyectar bóvedas obli-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cuas (fig. 333), en las que las pilas *p p'* siguieran la dirección de la corriente.

Pero entonces estas bóvedas necesitaron despiezos especiales, pues adoptando los normales hasta entonces empleados, sus zonas triangulares, *b, empujaban al vacío,* por faltarle uno de sus apoyos.

Claro es que la dificultad podía soslayarse, mediante tramos o arcos metálicos oblicuos, con vigas o cerchas oblicuas, sobre las que se apoyaban viguetas normales a aquéllas, solución fácil, que fué la empleada en el mayor número de casos.

No cejaron, sin embargo, los partidarios de los puentes de piedra, monumentales y eternos, logrando vencer la dificultad merced a despiezos artificiosos.

Su considerable coste no impidió que en casi todos los ferrocarriles construídos en la segunda mitad del siglo pasado figurara algún puente de esta clase, como muestra sin duda de las elucubraciones de sus ingenieros; pero desde que se generalizó el empleo del hormigón en bóvedas, y sobre todo el de los tramos rectos de H. A., han caído en desuso aquellas complicadas construcciones.

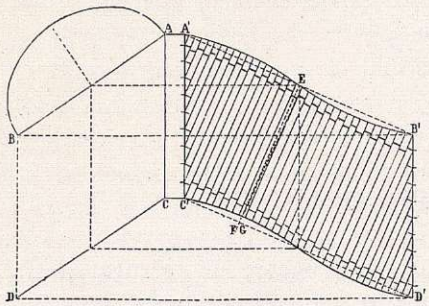


Fig. 334.—Aparejo helicoidal.

Nos abstenemos de describir, por lo tanto, los múltiples aparejos concebidos (1), limitándonos a reseñar el más sencillo de todos ellos para que los lectores aprecien las razones que justifican su desaparición.

La figura 334 representa la planta *A B C D* y el desarrollo del intradós *A' B' C' D'* del aparejo helicoidal, así llamado porque las juntas *E G,* normales a las cuerdas *A' B'* y *C' D'* de las curvas sinusoides de las aristas del arco, se transforman en hélices al trazarse sobre el cilindro de la bóveda.

Pero aun así, hay que labrar todos los sillares de los frentes y

(1) Que figuran en casi todos los tratados de puentes, y con gran claridad en Croizette-Desnoyers. *Cours de construction des ponts,* tomo II, pág. 154, *Apuntes de puentes de fábrica,* de D. Luis Gaztelu, pág. 95. *Grandes voutes.* Sejourné, tomo V, pág. 92. *Ponts en maçonnèrie,* par G. Gay, pág. 394.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

los de apoyo sobre pilas y estribos, todos ellos muy irregulares; en cambio, en la parte central de la bóveda pueden emplearse sillarejo regular o ladrillo (1).

Mejor aún es entonces emplear hormigón para estos rellenos, como se ha hecho en el puente de Lemona (2).

Son dos arcos de 16 m. de luz y 11,50 m. de ancho libre entre pretiles. Sólo las boquillas son de sillería, y se han despiezado en cuerno de vaca (fig. 335).

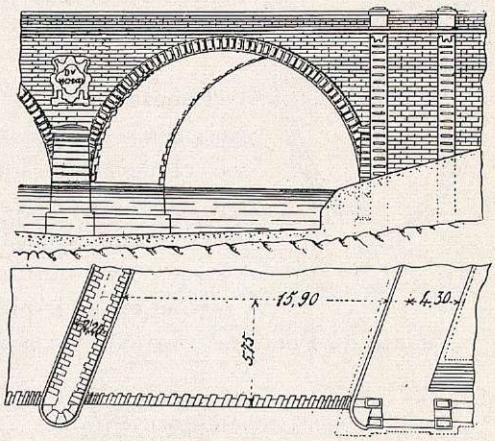


Fig. 335.—Puente de Lemona.

Con bóvedas de hormigón.—¿Pero a qué empeñarse en mantener las tradicionales boquillas de sillería, aparejadas con otra clase de fábricas, con diferencias de asiento entre ambas?

Es a todas luces preferible ejecutar todo el ancho y paramentos de las bóvedas oblicuas con hormigón en masa.

Así se suprimen totalmente las juntas, se asegura la homogeneidad de toda la bóveda y se evitan las diferencias de su trabazón, siempre dudosa en fábricas mixtas.

La bóveda trabajará entonces como un monolito. Podemos, pues, admitir como real la hipótesis de que las presiones se transmiten paralelamente a los frentes. ¿Por qué no ha de ocurrir así si se cree conseguirlo con aparejos dispuestos a ese fin?

Es una hipótesis que debe realizarse, puesto que en un gran número de bóvedas oblicuas (el autor las ha construído hace treinta años, con ángulos de 45 grados), no dan la menor señal de inestabilidad.

(1) De sillería y ladrillo era el puente oblicuo sobre el Manzanares de la línea del Norte, que por asientos desiguales de esas fábricas hubo que reparar, substituyendo costosamente el ladrillo por hormigén.

(2) Sobre el río Ibarzábal, a 15 kms. de Bilbao; proyectado el año 1921 por el ingeniero D. Francisco Guinea.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Pero entonces hay que dar a las bóvedas los espesores correspendientes a las luces reales de los frentes y no las que se darían con arreglo a su sección normal.

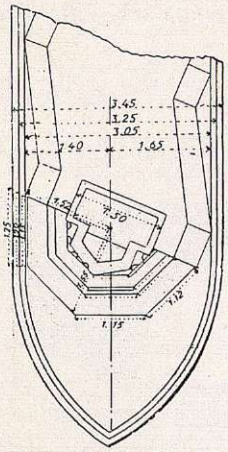


Fig. 336.—Pila del Puente en Valencia.

Con arcos o bóvedas de H. A.—Sobre las pilas oblicuas pueden apoyarse arcos independientes o bóvedas continuas de H. A.

Presentamos un ejemplo de cada clase.

Puente sobre el Turia en Valencia (1) (figura 336).—Tiene seis arcos de 25 m. de luz con el decalado suficiente para conseguir la oblicuidad de 67 grados. Obsérvese la disposición original de la planta del tajamar, que tiene dos ejes de simetría: uno el normal al puente y otro el eje de la pila.

Puente de Portland (fig. 337), sobre el Delawarre. EE. UU.

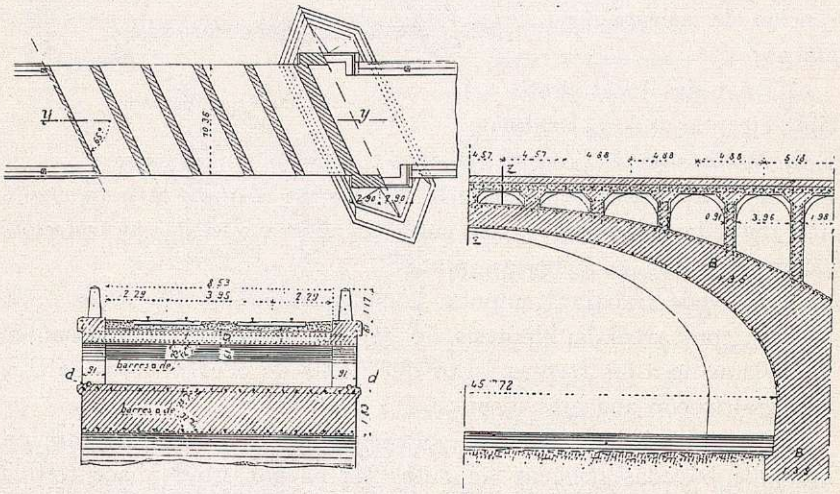


Fig. 337.—Puente en Portland (Estados Unidos).

Se han alcanzado aquí grandes luces: cinco arcos de 45,72 m. y arcos extremos de 36,58 m.; sirve para doble vía de ferrocarril (2).

(1) Proyecto del ingeniero jefe D. Arturo Monfort, descrito en *Ingeniería y Construcción* de marzo de 1926.

(2) Detalles en Sejourné. *Grandes voutes,* tomo III, pág. 289.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Pero si bien así desaparece la dificultad y carestía de labra de las dovelas irregulares, con paramentos y lechos enrevesados, no se suprime el gran coste de las cimbras oblicuas.

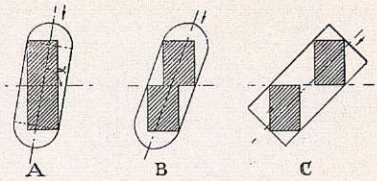


Fig. 338.

Con bóvedas rectas sobre apoyos oblicuos.—*Para evitar la oblicuidad de las bóvedas, manteniendo las de los apoyos, es aún mejor adoptar* en planta y en las pilas las disposiciones de la figura 338.

Tipo A — cuando $\alpha > 75$ grados.
B y C — para $\alpha < 75$ »

En estos dos últimos tipos quedan las bóvedas *decaladas* entre sí y pueden construirse separadamente, y hasta es preferible, sin contacto adherente entre ellas.

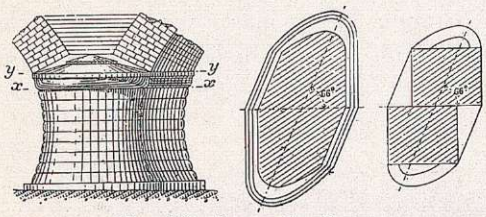


Fig. 339.—Puente de Abrest.

Las soluciones B y C han sido aplicadas por Sejourné en varios puentes de ferrocarril:

Tipo B: puente de Abrest (línea de Riom a Vichy) (fig. 339). Las pilas llevan tajamares amoldadas a la oblicuidad de 66°.

Tipo C: puente sobre el Doubs (línea de Fresne a Vallorbe) (figura 340), para $\alpha = 45°$.

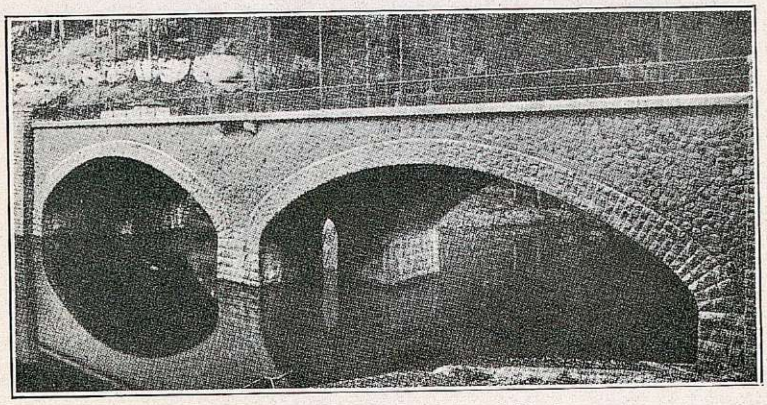


Fig. 340.—Puente sobre el Doubs.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Descansan los apoyos sobre una pila rectangular, en la que los ángulos extremos aparecen bajo el agua, como tajamares con ángulo de 90°.

Con arcos gemelos.—Pero en casos análogos, es aun mejor *separar francamente las bóvedas y sus apoyos,* recurriendo a la disposición de arcos gemelos, ya sea con bóvedas de fábrica, ya con arcos de H. A., completando el ancho del puente con un tablero de H. A.

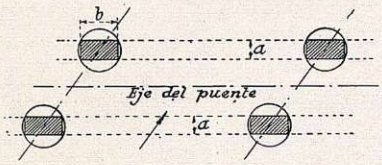


Fig. 341.

Se disponen entonces los apoyos como en la figura 341, con el ancho *a* de los arcos y la longitud *b* necesaria para resistir a los empujes desiguales de un semiarco cargado y otro sin sobrecarga.

Cuando la fuerza de la corriente en crecidas exija que la parte sumergida de las pilas lleve tajamares, pueden disponerse por debajo de los arranques en forma circular como en la figura, con el diámetro que pida la estabilidad de sus cimientos.

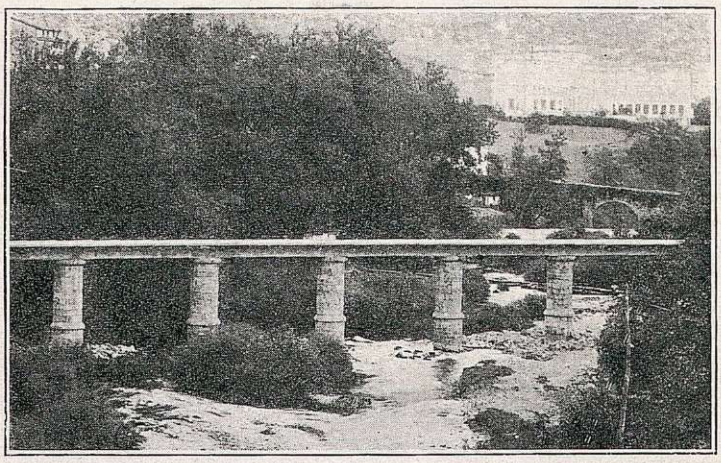


Fig. 342.—Puente sobre el Zumaya, en Vergara.

Con tramos rectos.—Todas las dificultades que ofrece la construcción de las bóvedas o tramos oblicuos se solventan con tramos rectos de H. A.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Es la disposición que emplea siempre el autor que, como ha significado repetidas veces, *prefiere suprimir la dificultad que resolverla complicadamente.*

Los puentes oblicuos se presentan casi exclusivamente en ferrocarriles.

Con el tipo de π en tramos rectos que preconizamos, las vigas pueden ponerse al plomo de los carriles, es decir, a distancias entre ejes de 1,00 m. para ferrocarriles de vía estrecha, de 1,67 m. para la ancha.

Ejemplos de este tipo de puentes (cap. VII y en la figura 342).

Las pilas y aletas de estribos se disponen entonces como en la figura 343. Pero pueden también emplearse tramos rectos oblicuos sobre pilas y estribos oblicuos, como vimos en el capítulo I, figura 22, con tramos rectos de 22 m. en el ferrocarril transpirenaico de Lérida a Saint Girons.

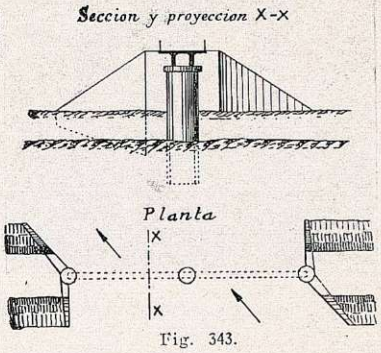


Fig. 343.

§ II.—PUENTES Y VIADUCTOS EN CURVA

Se presentan pocos casos de puentes en curvas y no hay reglas para proyectarlos. Pero pueden también resolverse con arcos hasta de 35 m. y en radios de curvas superiores a 100 metros.

Presentamos el ejemplo de un puente en Sierra Nevada (California), figura 344, para una carretera con 7 por 100 de pendiente. Los arcos son rectos

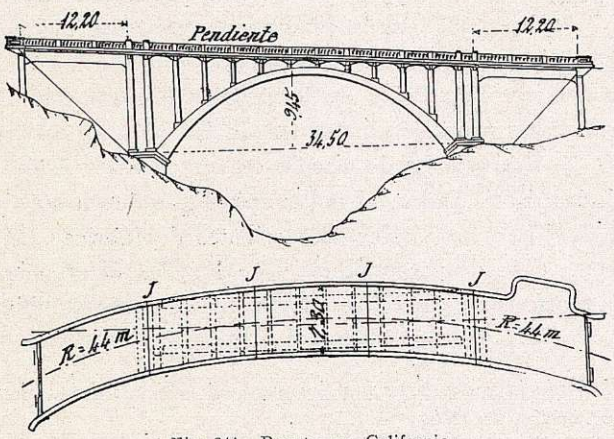


Fig 344.—Puente en California.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

y normales a los apoyos; las viguetas y forjados (éstos con peralte de 46 cm.) son los que consiguen la curva de la plataforma, que sobre el arco tiene radio de 110 m., que se reduce a 44 m. en los dos tramos rectos de acceso (1).

Fig. 345.—Alborta Batro (Suiza).

Son, en cambio, muy numerosos los viaductos en curva (figuras 345 y 346).

Los ingenieros franceses han imaginado multitud de artificios para solucionar las dificultades que se presentan en los aparejos de los viaductos en curva por medio de bóvedas cónicas o en conoide, de tímpanos cóncavos o convexos, con superficies alabeadas o curvas (2).

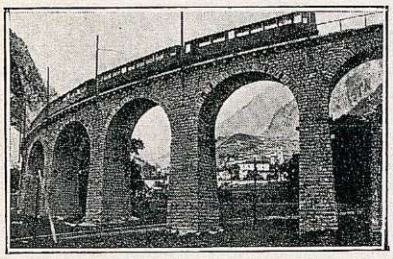


Fig. 346.—Suiza.

Pero en su mayor parte los viaductos curvos de fábrica se han simplificado con las reglas prácticas siguientes:

1.° Reducir cuanto se pueda las luces de los arcos.

2.° Construir las bóvedas cilíndricas, con anchura suficiente para que en ella quepa circunscrita la planta en curva del balasto de la vía; las pilas quedan trapeciales (fig. 347-A).

3.° Para atenuar el mal aspecto de las aristas del trapecio A pueden redondearse éstas, o mejor aún se trazan los paramentos de las pilas (fig. 347 - B), según arcos de círculo de centro *P*.

Respecto a taludes de tímpanos, el autor opina que deben suprimirse, como lo aconsejó en los viaductos corrientes de fábrica; tratándose como en este caso de arcos de pequeña luz, las diferencias de aspecto y de volúmenes de obra son insignificantes y, en cambio,

(1) Detalles en *Ingeniería y Construcción* de mayo de 1926 y *Engineering News Récord* de 4 de marzo de 1926.

(2) Detalles en *Grandes voutes,* de Sejourné, tomo VI, pág. 86.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

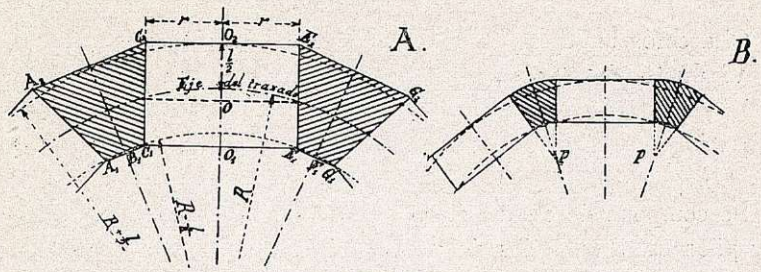


Fig. 347.

las inclinaciones en los paramentos complican mucho su construcción.

Consideramos pueriles esas filigranas estereotómicas en obras industriales.

§ III.—VIADUCTOS EN RAMPA

Ya vimos en el tomo III, capítulo IV, las disposiciones empleadas para las bóvedas de los puentes con rampas.

En los viaductos en rampa, cuando éstas no excedan de 30 mm., los arcos de fábrica se trazan como en la figura 348-A. Cada bóveda un radio único; los arranques de dos arcos inmediatos quedan escalonados.

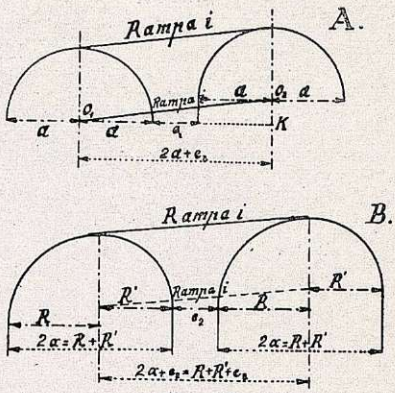


Fig. 348.

Para rampas que exceden de 30 mm. la disposición más empleada es la de trazar los semiarcos con dos radios diferentes; de esta manera los dos arranques pueden quedar a igual altura en cada pila (figura 348-B).

En rampas excepcionales pueden adoptarse para los arcos curvos de intradós especiales como, por ejemplo, una elipse, cuyos diámetros conjugados sean la línea de arranque y una vertical, cuya ecuación es:

$$\frac{x_2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (1)$$

(1) Sejourné. *Grandes voutes,* tomo VI, pág. 97.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Citaremos un ejemplo que acaba de ejecutarse en España.

Viaducto del Tossa (1)—Para el ferrocarril de cremallera de Ribas de Fresser al santuario de Nuria (Gerona).

Está en curva de *80 m. de radio* y *pendiente de 12 por 100* (figura 349).

Se compone de cuatro grupos de tres arcos cada uno, separados por pilas estribos, todos de pequeña luz, pues los mayores que co-

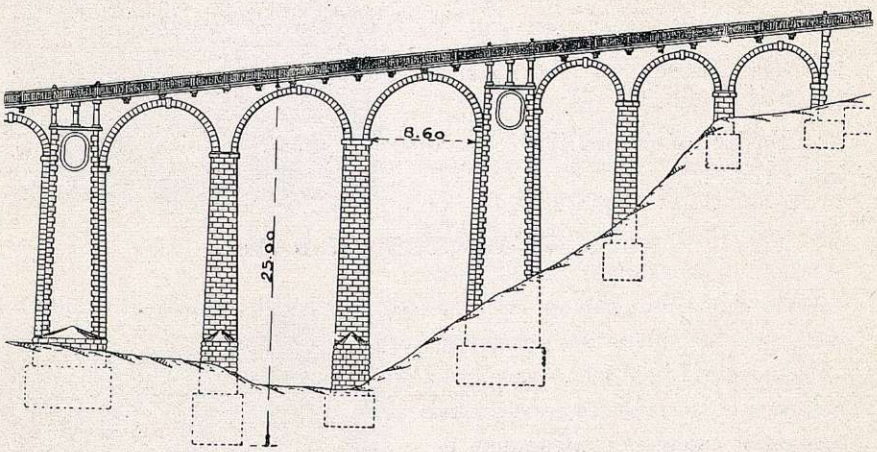


Fig. 349.—Viaducto del Tossa (Gerona).

rresponden al grupo central y cuyas pilas alcanzan 25 m. de altura. sólo tienen 8,60 m. de luz.

Las bóvedas, que se habían *proyectado en conoide,* se ejecutaron cilíndricas por prescripción del Consejo de Obras públicas, con lo que las pilas resultaron trapeciales.

Se ha dado a las bóvedas y pilas un talud de 1/20 para el lado cóncavo y 1/12 para el lado convexo.

§ IV.—CONCLUSIONES

Hemos examinado los habilidosos recursos a que han apelado los ingenieros para solucionar las dificultades que se presentaron

(1) Autor del proyecto, D. José Paz Maroto, que lo justifica en la *Revista de Obras Públicas* de 1.° de febrero de 1931, y en un interesante folleto: *Viaductos especiales españoles,* en que desarrolla el cálculo elástico de esta obra especial.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

en los puentes o viaductos de fábrica, cuando la traza de la vía corta oblicuamente a los ríos o necesita curvas o rampas acentuadas; observamos también que se han ido imponiendo las soluciones sencillas.

Pero aun pueden suprimirse más radicalmente todas las dificultades, recurriendo al empleo de tramos rectos de H. A. sobre pilas circulares, para los que la oblicuidad es indiferente; tampoco ofrecen ninguna dificultad los tramos rectos, ni sus pilas, en los viaductos en curva o en rampa.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

CAPÍTULO XII

ENSANCHES, ACCESOS Y TRANSFORMACIONES DE LOS PUENTES

§ I.—**Ensanches.**
Disposiciones antiguas.—Ensanches metálicos.—Ensanches de H. A.

§ II.—**Accesos.**

§ III.—**Transformaciones.**

§ I.—ENSANCHE DE LOS PUENTES

El aumento de circulación en los puentes carreteros impone frecuentemente su ensanche.

Si tiene que ser considerable, es obligado ensanchar apoyos y cimientos, según explicamos en el tomo II, capítulo XIII, y sobre la prolongación de esos apoyos construir nuevos anillos de bóvedas.

Pero hay muchos puentes en que no es preciso recurrir a este costoso procedimiento.

Disposiciones antiguas.—En los clásicos tratados de puentes se describen muchas disposiciones a base de ménsulas de sillería, sobre las que se apoyan, o losas de piedra con ligeros pretiles de ladrillo (fig. 350), o mejor aún bovedillas de ladrillo y barandillas metálicas (fig. 351).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Son disposiciones caras, porque las ménsulas de sillería necesitan mucho tizón, para que su empotramiento baste para soportar las sobrecargas que actúen sobre los andenes volados (1).

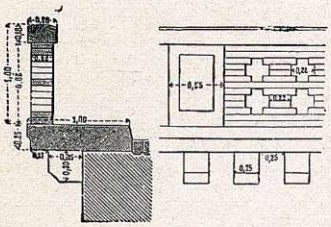


Fig. 350.

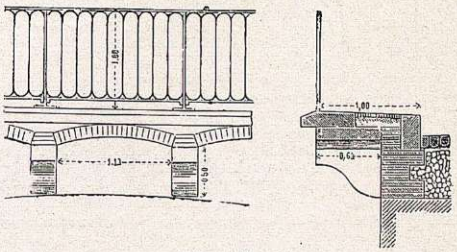


Fig. 351.

Ensanche metálico.—Resulta más económica la disposición que el autor ha empleado hace cuarenta años, es decir, antes de la aparición del H. A.

Consiste (fig. 352) en unas consolas con aceros perfilados, *que se atirantan por debajo del pavimento y a través del puente,* por el hierro angular que constituye la barra de tensión de las dos ménsulas.

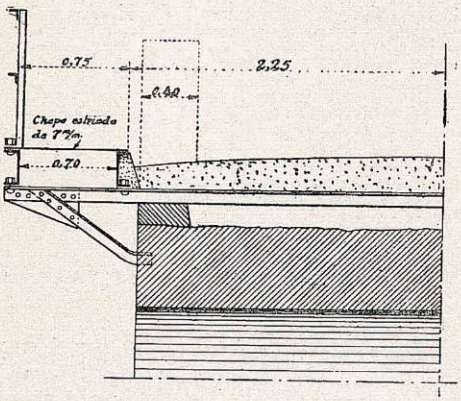


Fig. 352.

Sobre éstas se apoyan y fijan los aceros en U, que sirven de guarda firme por un lado y de sujeción para los montantes de la barandilla por otro, y para las chapas estriadas que constituyen los andenes.

Por de pronto se gana en anchura del puente los gruesos de los pretiles de piedra y todo el ancho de los andenes.

Puede ampliarse aún más el ensanche en aquellos puentes viejos, con anchura total en bóvedas de unos 3,00 m., que sólo podían utilizarse para una vía; con la disposición metálica antes descrita se puede ensanchar hasta 6,00 m. entre barandillas, con voladizos de

(1) En el tomo III, pág. 213, damos el detalle de un ensanche de esta clase. (Puente de Saint Sauveur.)

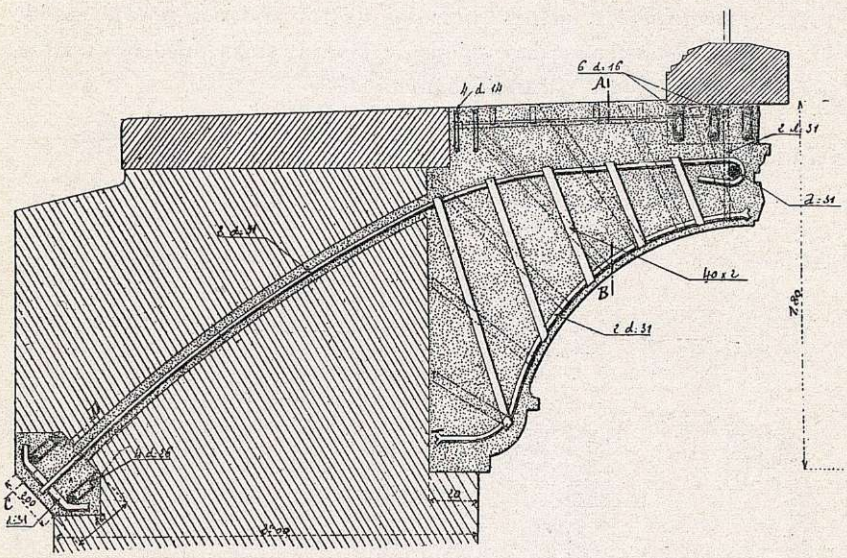
FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

1,00 a 1,50 m.; lo que falta a la bóveda para el ancho de calzada —de 4,00 a 4,50 m.—se suple con unas placas de H. A. o de acero bombeadas; claro es que entonces hay que reforzar las armaduras o disminuir la distancia de las consolas, que suele oscilar entre 1,50 y 3,00 m.

Estos ensanches metálicos ofrecen mal aspecto, por resultar muy visible el añadido de un entramado ligero pegado a un tímpano viejo; exigen también una constante conservación.

Ensanches de H. A.—Se suprimen estos inconvenientes, substituyendo el hierro por el H. A., y lo hemos realizado en multitud de puentes viejos.

Pueden imitarse las disposiciones antiguas empotrando en los tímpanos ménsulas de H. A., sobre las que se disponga un forjado


6 d. 16
A
B
40 x 2
2 d. 31
2 d. 31
2 d. 31

salientes hasta de 2,50 m. sobre los paramentos exteriores de aquéllos. Las barras superiores de las consolas quedan atirantadas por una viga longitudinal de H. A. en el paramento interior del muro, que reparte el esfuerzo de tracción sobre toda la longitud de aquél. El vano entre las consolas, que están a 3,00 m. de distancia, se cubre con una viga exterior y un forjado.

Pudiera aplicarse esta disposición para ensanche de los puentes, pero estas ménsulas necesitan empotrarse profundamente para solidarizar bastante masa de tímpano que equilibre a los momentos flectores sobre el voladizo, lo que es difícil obtener en tímpanos viejos de espesores reducidos; por esta razón, en puentes viejos resulta más económico atirantar las ménsulas a través del puente, como en los ensanches metálicos antes descritos.

Basta envolver en hormigón toda la armadura de acero de este tipo y substituir las chapas estriadas de los andenes por placas de H. A. Las distancias y decoración de las ménsulas pueden variarse, pero conviene poner barandillas metálicas.

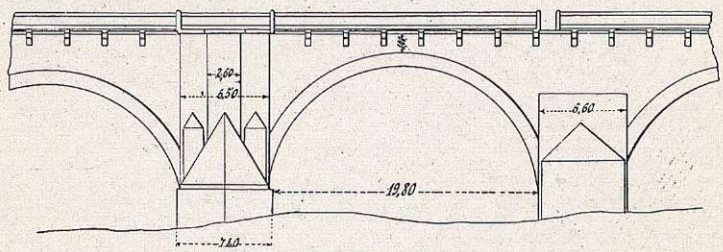


Fig. 354.—Puente de Badajoz.

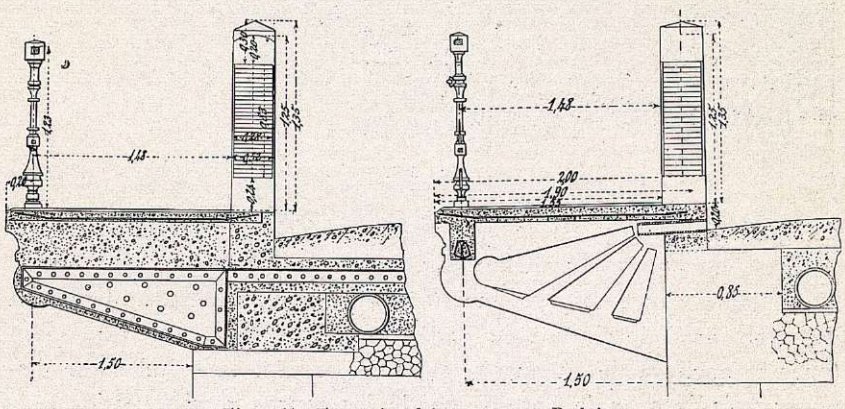


Fig. 355.—Ensanche del puente en Badajoz.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Incluímos como ejemplo el del puente sobre el Guadiana en Badajoz (1) (figs. 354 y 355), con ménsulas a 3,00 m. de distancia.

Por exigencias militares, que hoy parecen inexplicables, hubo que añadir a la barandilla metálica de los andenes un pretil interior de fábrica, con lo que se pretende defender contra el enemigo el paso por la calzada.

En los posteriores ensanches que hemos realizado, entre otros el del Puente de San Fernando, sobre el Manzanares, carretera de Madrid a Coruña, hemos suprimido las chapas verticales de las ménsulas, adoptando para las armaduras igual disposición que en el ensanche metálico anteriormente descrito.

El aspecto de estos ensanches no desentona sobre puentes viejos, pues el hormigón adquiere pronto pátina; son económicos y no exigen más conservación que la de la barandilla (2).

§ II.—ACCESOS DE LOS PUENTES

Ya en el capítulo VII, "Estribos", de nuestro tomo III, dimos algunos ejemplos de estos accesos.

Conviene ampliar lo que allí dijimos.

En los puentes industriales, o en aquellos de visibilidad difícil, o alejados de los pueblos, los accesos de los puentes deben proyectarse con la mayor sencillez y economía, eligiéndose los muros en vuelta o en ala que mejor se plieguen a las márgenes. Pueden adoptarse también las disposiciones de la figura 356.

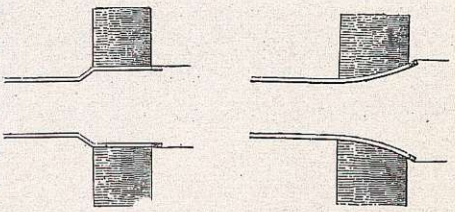


Fig. 356.

Si hay que dejar algún paso inferior de peatones o vehículos a través de uno de los estribos, se proyecta en éstos los huecos nece-

(1) Adjudicado, mediante concurso de proyectos, a la Sociedad J. Eugenio Ribera y Compañía. Autor del proyecto: ingeniero D. Cayetano R. Noguera.

(2) Al ocuparnos de los muros (tomo I, capítulo V) y de los viaductos, en un capítulo anterior, ya dijimos que se podrían ensanchar aquéllos y éstos con forjados de H. A. en voladizo, con o sin ménsulas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

sarios, cubriéndolos con una bóveda si hay altura o con una losa de H. A. si la rasante del paso y del puente lo exigieran.

Cuando los puentes han de construirse en poblaciones, deben estudiarse sus accesos en armonía con los muelles y la arquitectura de las calles que vienen los puentes a prolongar.

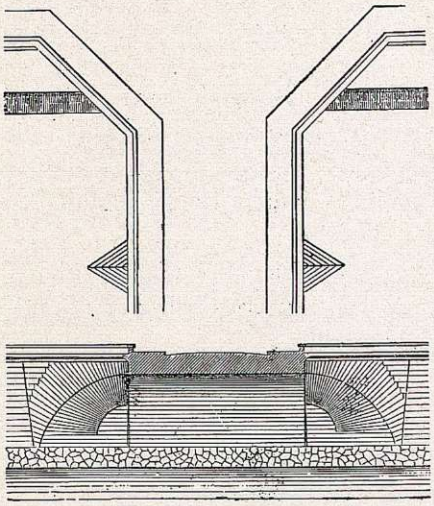


Fig. 357.—Puente de las Tuillerías.

Entonces se ensanchan los estribos para facilitar el tránsito de vehículos desde el puente a la calle normal a éste.

Hasta se llegaron a realizar estos ensanches con capialzados triangulares costosos, como el puente de las Tuillerías, en París (figura 357), a fines del siglo XVIII.

Persiguiendo el mismo objeto, el autor ensanchó con sencillez los estribos de sus puentes de María Cristina y del Kursaal, ambos en San Sebastián (figs. 81 a 84 del tomo III).

Es frecuente tener que dar paso a través de los estribos con arcos o tramos rectos, enlazando el paso y la rasante del puente con rampas (fig. 358) o con escaleras (fig. 359). El puente de San Telmo, en Sevilla, descrito en el capítulo IV, lo hemos enla-

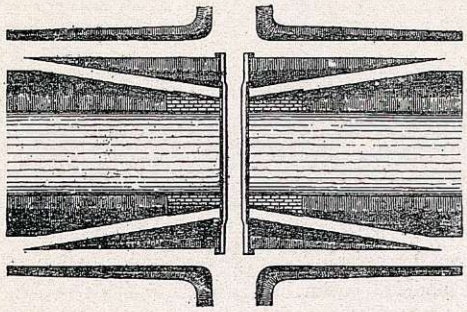


Fig. 358.

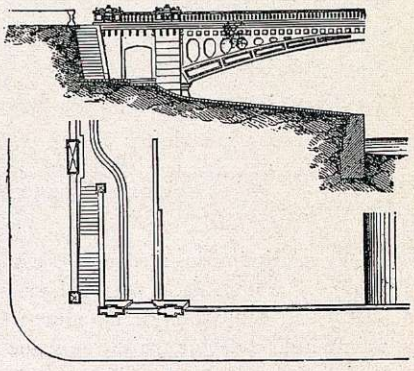


Fig. 359.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

zado con rampas suaves, que dan acceso a los muelles del puerto, que además están enlazados por escaleras con la calle paralela, situada a unos 3 m. de altura sobre el muelle.

Pero en los pasos de los muelles o de los pasos de márgenes a través del puente, en vez de realizarlos con arcos, preferimos emplear tramos rectos de H. A., como en el puente Victoria (cap. II) y en el puente de San Telmo, en Sevilla (cap. IV), que estimamos la solución más económica.

§ III.—TRANSFORMACIONES DE LOS PUENTES

Con motivo de los aumentos considerables de tráfico y de peso que han sufrido en estos últimos años los camiones y las locomotoras que circulan en las carreteras y vías férreas, se están realizando constantemente la transformación de bóvedas y, sobre todo, de tramos metálicos por disposiciones más robustas.

En muchos casos se substituyen los antiguos tramos metálicos por otros nuevos, calculados para las nuevas sobrecargas.

Pero son también cada vez más frecuentes la supresión de los puentes metálicos, que se substituyen radicalmente con bóvedas de hormigón en masa o arcos de H. A.

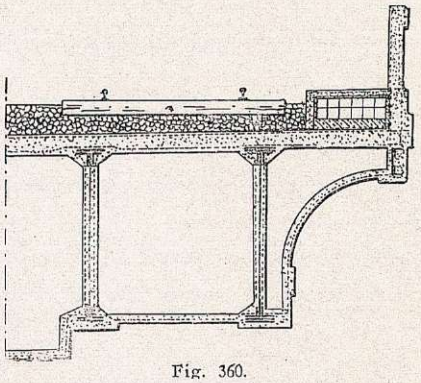


Fig. 360.

Ya en el tomo III citamos varios ejemplos de estas transformaciones con bóvedas de hormigón (1).

En el capítulo VIII describimos asimismo la substitución de los grandes viaductos metálicos de Panguas y Grandfey (Suiza) por arcos de hormigón en masa en el primero y de H. A. en el segundo.

Por último, en algunos casos se ha ocultado la fealdad de los tramos metálicos, recubriéndolos enteramente con hormigón (figu-

(1) Puentes sobre el Zújar y sobre el Nora, capítulo X del tomo III.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ra 360). Es un puente de varios tramos de 13 a 20 m. sobre un parque de Boston (E. U. A.).

La estructura metálica se rodea con alambre de acero y se recubrió con hormigón de gravilla de 12 mm. en la proporción de 1-2-4, con un grueso mínimo de 75 mm. Presenta mejor aspecto y queda preservado de la oxidación (1).

(1) *Revista de Obras Públicas* de 1910, pág. 624.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CAPÍTULO XIII

DECORACION DE LOS PUENTES

§ I.—**Su historia hasta 1900.**

§ II.—**Elementos ornamentales.**

Archivoltas.—Impostas y pretiles.—Obeliscos.—Puertas.—Decoración de los tramos rectos.—Andenes en voladizo.—No hay que abusar.

§ III.—**La evolución decorativa en el siglo XX.**

El hormigón provocó la evolución por etapas.—Imitación de la piedra.—Profusión ornamental.—Fantasías modernistas.—Sobriedad decorativa.—Sinceridad constructiva.

§ IV.—**La colaboración de los arquitectos.**

§ I.—SU HISTORIA HASTA 1900

Epoca antigua.—Los Romanos y los Persas prescindieron casi siempre de la decoración en sus puentes. Les bastó la proporción y grandiosidad de las siluetas para determinar sensación de resistencia y de belleza.

Sólo en algunos puentes los realzaron con puertas conmemorativas, como en el de Alcántara (tomo I, fig. 41), o con estatuas sobre pilastras (fig. 361), o con nichos en los tímpanos (fig. 362).

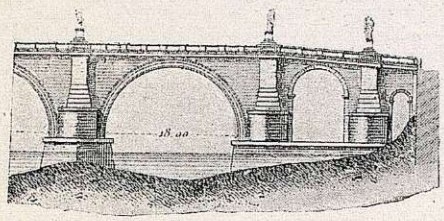


Fig. 361.—De Santo Angelo (Roma).

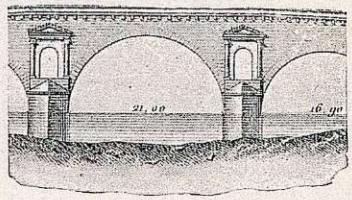


Fig. 362.—De Vicencia

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

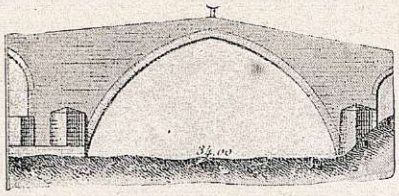


Fig. 363.—De San Juan de las Abadesas.

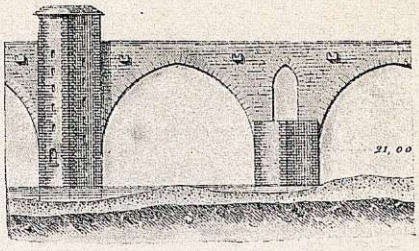


Fig. 364.—De Montaubán.

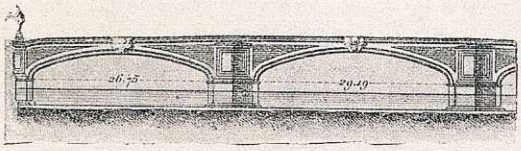


Fig. 365.—De la Trinidad (Florencia).

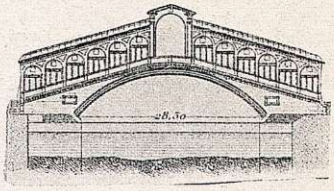


Fig. 366.—De Rialto (Venecia).

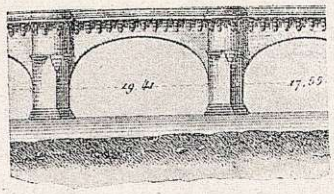


Fig. 367.—Puente Nuevo (París).

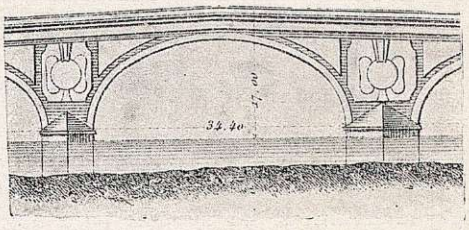


Fig. 368.—De Toulouse.

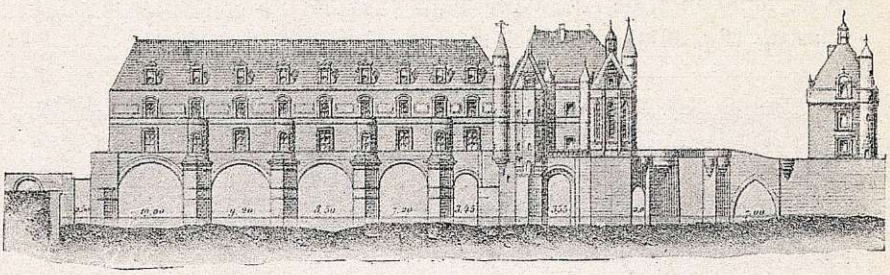


Fig. 369.—Puente y castillo de Chenonceaux, sobre el Loira.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Edad Media.—Los quince siglos de Edad Media fueron en la decoración de los puentes, como en todo, un retroceso de la Humanidad y un estancamiento casi absoluto de sus progresos (figuras 363 y 364).

Aquellos pocos puentes son, con gran frecuencia, feos por su aspecto, incómodos por sus rampas de acceso; las dimensiones pesadas—a veces monstruosas—de sus apoyos no guardan relación con la finura en las claves de sus arcos ojivales, que pueden ser forma que satisfaga en templos, pero que es irracional en puentes.

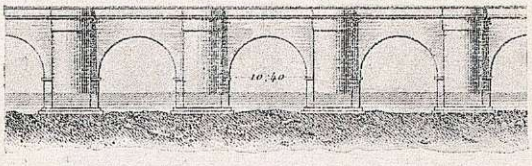


Fig. 370.—Puente de Toledo, en Madrid.

Imponen sólo respeto por su vetustez; pero aquellos puentes cristianos fueron constructivamente más bárbaros que los budistas de China, los bramánicos de la India y los mahometanos de Persia.

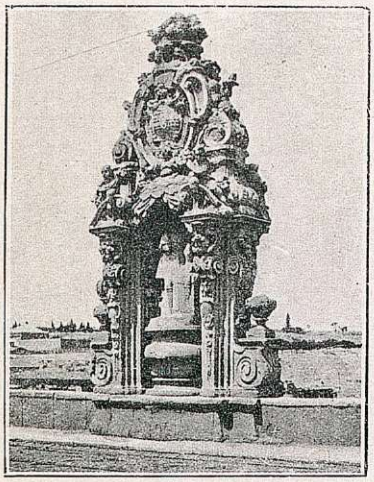


Fig. 371.—Templete del puente de Toledo

Renacimiento. — Los italianos del Renacimiento, a la par que reverdecieron con mayor refinamiento las tradiciones romanas, iniciaron no sólo la decoración artística de sus puentes, sino el empleo de los arcos carpaneles y rebajados (figuras 365 y 366).

En Francia siguieron el ejemplo, aunque con menor gusto (figuras 367 y 368); sobre uno de sus puentes de aquella época, y por capricho principesco, levantaron un palacio con visos de castillo (figura 396), que más económica y confortablemente hubiérase erigido en una de las márgenes del Loira.

Tampoco hubo aciertos constructivos ni artísticos en los puentes españoles del Renacimiento. Ya criticamos la pesadez del viaducto de Ronda (fig. 241) y del puente de Toledo, en Madrid (figu-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

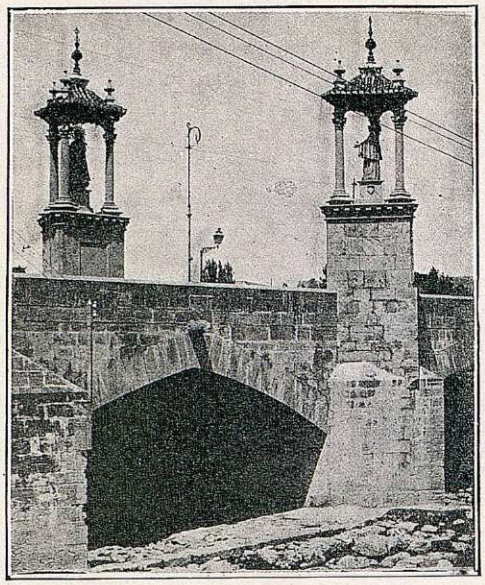


Fig. 372.—Puente del Mar, en Valencia.

ra 370), a pesar de los churriguerescos templetes que posteriormente se le añadieron en algunos de los refugios de sus pilas (fig. 371), recordando sin duda a los que habían puesto en el puente del Mar, en Valencia (fig. 372); son ambos de bien escaso gusto, a juicio del autor, al que no basta su antigüedad para reverenciar a los artistas que los realizaron.

Siglos XVIII y XIX.—Ya en el siglo XVIII se fueron depurando las proporciones y los elementos decorativos de los puentes, sobre todo en Francia, donde Perronnet, con sus puentes de Neuilly y La Concordia (descritos en el tomo III, páginas 128, 151 y 181), estableció un estilo que se hizo clásico y se mantuvo en casi todos los puentes y viaductos hasta mediados del siglo XIX. (1).

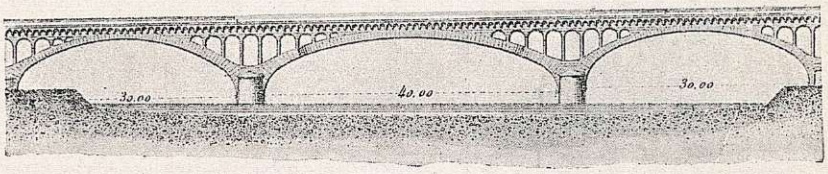


Fig. 373.—Puente acueducto sobre el Yonne.

Entonces se perfeccionó la ornamentación de algunos puentes merced a los aligeramientos transversales de los tímpanos en los arcos mayores de 25 m. de luz (fig. 373), que hemos detallado en el capítulo XI del tomo III.

(1) El puente de la Concordia, que es el que cruza el Sena, en París, frente a la Cámara de Diputados y la iglesia de la Madeleine, acaba de ensancharse ampliamente, pero respetando el aspecto de sus pilas y paramentos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Empleáronse también como elementos ornamentales de las bóvedas las archivoltas, las impostas y pretiles complicados, y los obeliscos, estatuas y hasta grandes puertas monumentales, como complemento decorativo de las vías.

Por último, en este siglo XX se generalizó el empleo del H. A. en los puentes y edificios, que no sólo justificó nuevas estructuras, sino que ha provocado una radical evolución decorativa, de que luego nos ocuparemos.

§ II.—ELEMENTOS ORNAMENTALES

Al describir en el tomo III las bóvedas, estribos y pilas, ya presentamos ejemplos, en los que aparecen las ornamentaciones con que se han decorado estos elementos.

Completaremos aquellos datos.

Archivoltas.—Son éstas unas acusadas y salientes molduras en el trasdós de los arcos.

Aunque ya se habían iniciado en el puente florentino de la Trinidad, antes citado (fig. 365), donde se empleó con mayor relieve y se hizo clásica, fué en el puente de Lavaur, construído en el siglo XVIII (figs. 374 y 375).

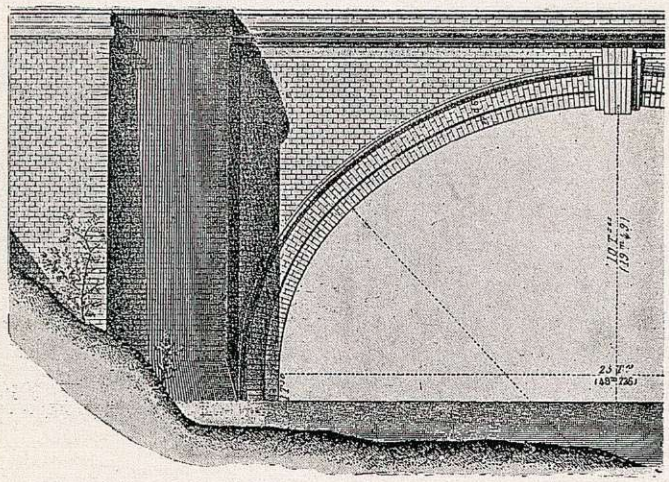


Fig. 374.—Puente viejo de Lavaur (siglo XVIII).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

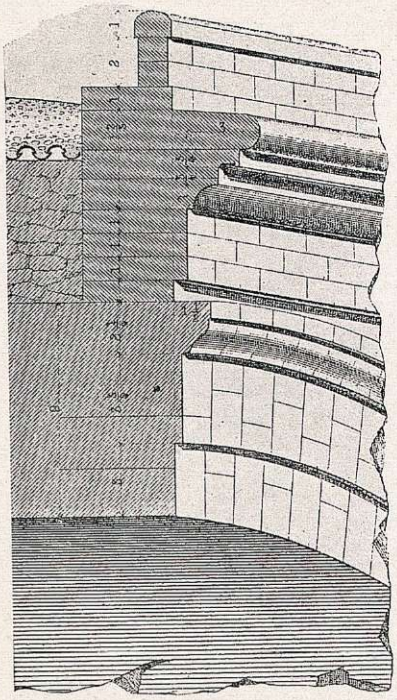


Fig. 375.—Puente viejo de Lavaur.

Sejourné aplicó análoga ornamentación de los arcos en su puente Antoinette (fig. 376) y después en sus puentes de Lavaur, Luxemburgo y Ammidonniers (1); pero en bóvedas de piedra resulta muy costosa la labra de estas molduras de paramentos.

En cambio, con arcos de hormigón es pequeño el aumento de gasto producido por las archivoltas; por esta razón el autor las ha puesto en su puente Victoria (fig. 384) y en su viaducto de Barranco Hondo (figs. 264 y 265).

Es una ornamentación racional, que acentúa la bóveda y la separa francamente del tímpano, y que realizada con hormigón resulta barata.

Impostas y pretiles.—En los puentes descritos en este tomo (2) se ha podido observar su variedad.

Se principiaron a construir pretiles macizos de sillería sobre robustas impostas, recobrándose a veces el ancho perdido por el grueso de los pretiles, con consolas decorativas (figuras 377 y 378).

Posteriormente se

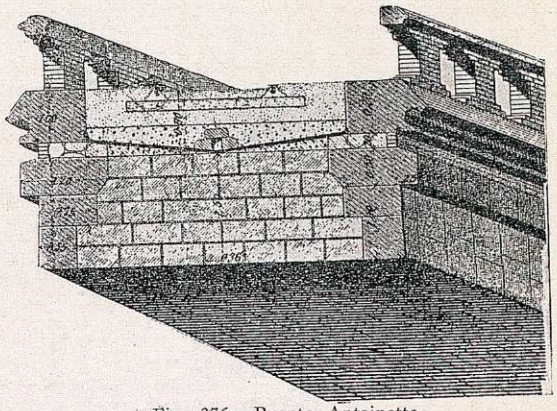


Fig. 376.—Puente Antoinette.

(1) Descritos, respectivamente, en los capítulos XII y XIII del tomo III.
(2) Y en el tomo III, página 96.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

aligeraron los pretiles, calando las losas que los constituían (fig. 379), o con balaustres (fig. 380). Resultaban caras.

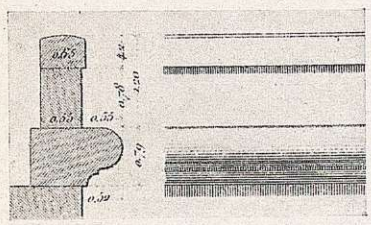


Fig. 377.

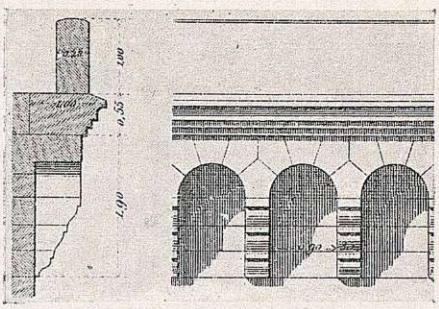


Fig. 378.

Pero aunque pudiera reducirse su coste con piedra artificial, se ha preferido en muchos casos recurrir al ladrillo (fig. 381) o al hierro fundido imitando la piedra (fig. 382).

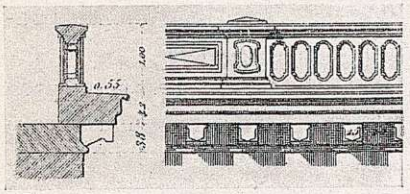


Fig. 379.

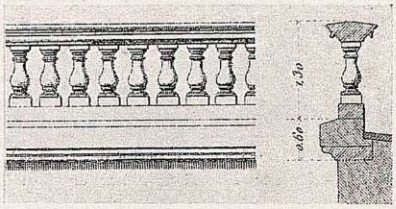


Fig. 380.

Hoy se construyen de fundición o de hierro dulce la mayor parte de los pretiles, en cuyos dibujos los arquitectos pueden lucir su buen

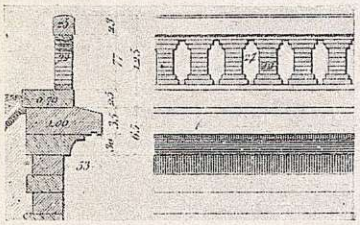


Fig. 381.

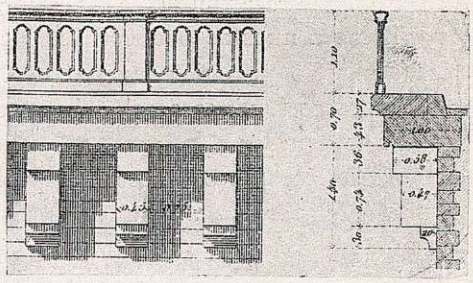


Fig. 382.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

gusto, combinando esas barandillas metálicas con faroles o grupos escultóricos.

Presentamos dos ejemplos de nuestros puentes Victoria y María Cristina (figs. 383 y 384), cuya decoración proyectó nuestro colaborador el arquitecto D. Julio M. Zapata.

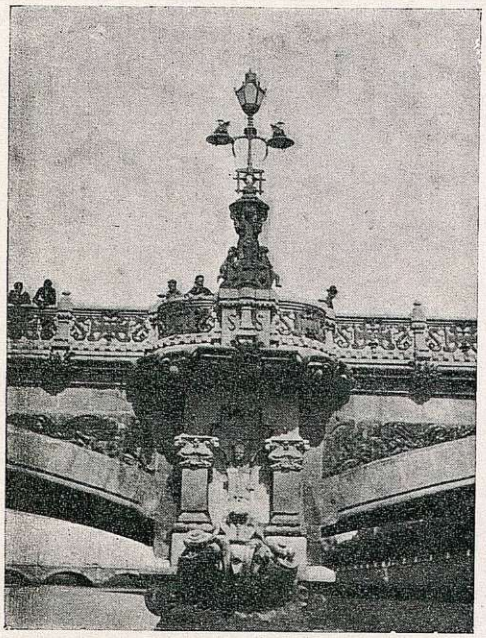


Fig. 383.—Puente María Cristina, en San Sebastián.

Obeliscos y estatuas.—En puentes monumentales se han decorado sus entradas con obeliscos o estatuas y también combinando ambos elementos.

Generalmente se emplazan en los ensanches de los estribos de las márgenes, al efecto preparados.

Para facilitar el paso de los andenes sin ensanchar considerablemente los estribos, proyectamos para el citado puente de María Cristina, en San Sebastián, dos grandes obeliscos en cada margen, formando cada uno de ellos una bóveda sobre tres basamentos, que permitían el paso de los peatones en todos sentidos (fig. 385). Confiesa el autor que la feliz evolución del gusto arquitectónico, que luego expondremos, justifica las críticas a nuestro proyecto, redactado en 1903.

En nuestro posterior puente del Kursaal (fig. 386) dispusimos unos obeliscos luminosos sobre las pilas y parecen tener más aceptación que aquéllos.

En cambio, los obeliscos del puente Alejandro III, en París (figura 387), por sus armoniosas proporciones constituirán siempre una nueva prueba del refinado gusto francés.

Puertas.—Los técnicos alemanes, dentro de su tradicional es-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

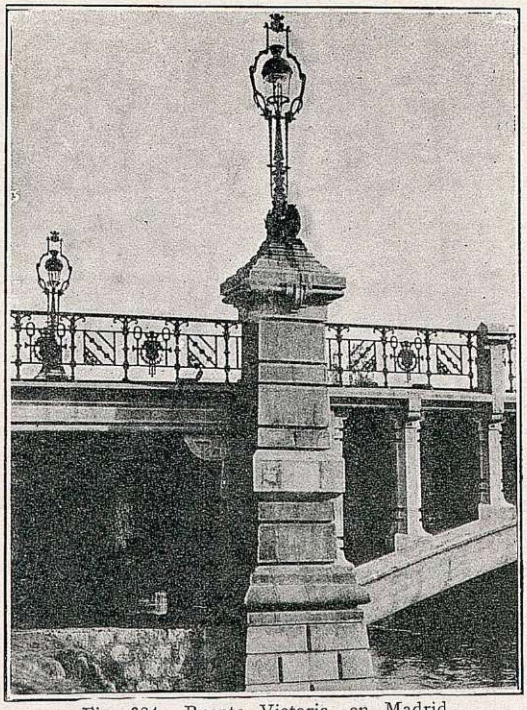


Fig. 384.—Puente Victoria, en Madrid.

Fig. 385.—Obeliscos del puente María Cristina (San Sebastián).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

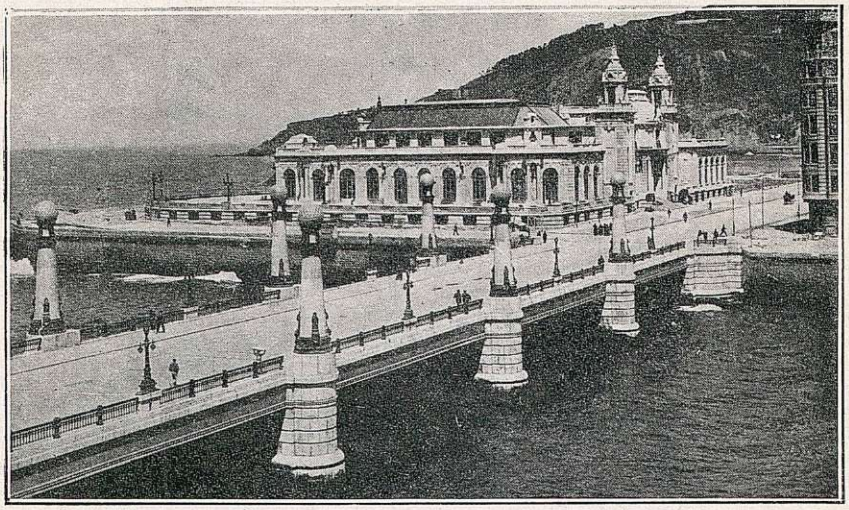


Fig. 386.—Puente del Kursaal (San Sebastián).

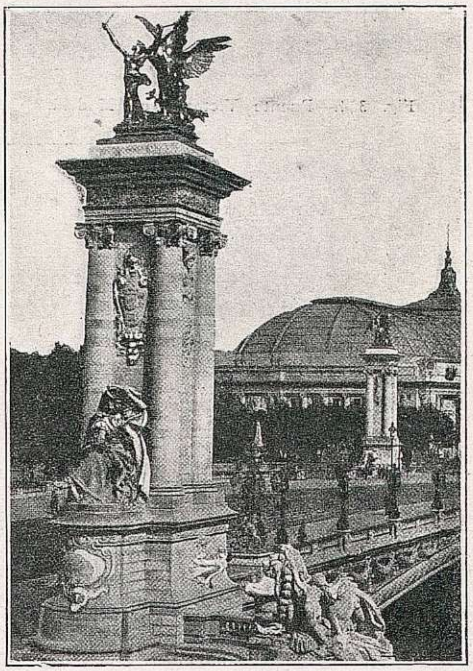


Fig. 387.—Puente de Alejandro III (París).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

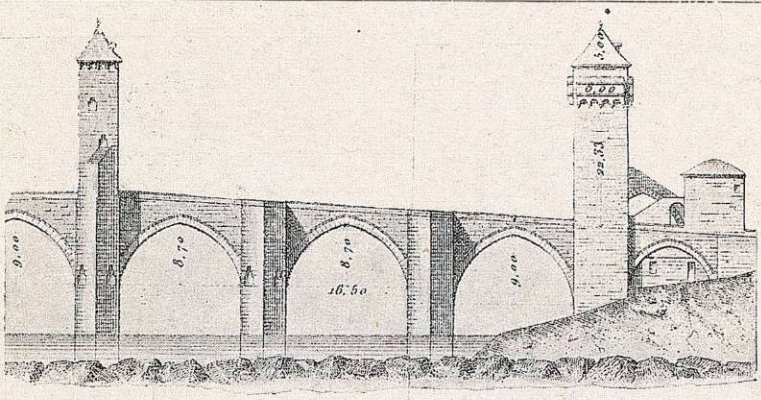


Fig. 388.—Puente de Cahors (siglo XIII).

tilo, tendiendo siempre a lo *colosal,* pero con instinto guerrero, remedando las puertas de algunos puentes romanos y, sobre todo, los que en la Edad Media tenían puertas defensivas (fig. 388), han querido dar monumentalidad a muchos de sus puentes importantes, disponiendo en sus estribos grandes puertas de aspecto militar (figuras 389 a 392).

En los demás países se ha reservado este tipo decorativo para los grandes puentes colgados, en los que las puertas se utilizan, sobre todo, para el apoyo de los cables de los que cuelga el tablero.

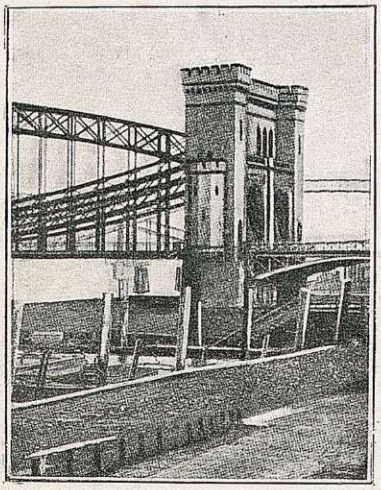


Fig. 389.—En Hamburgo.

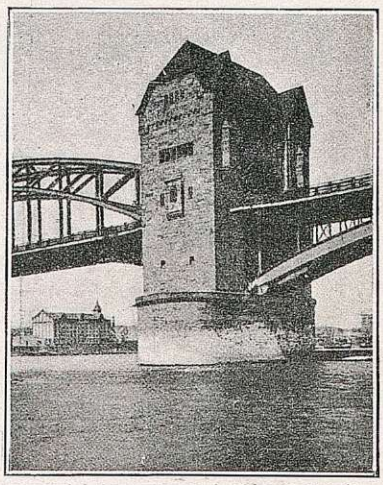


Fig. 390.—En Colonia.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

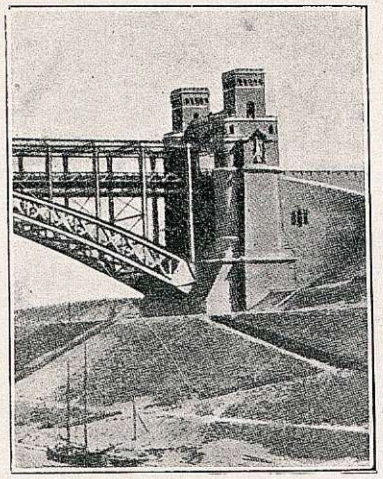


Fig. 391.—En Levensau.

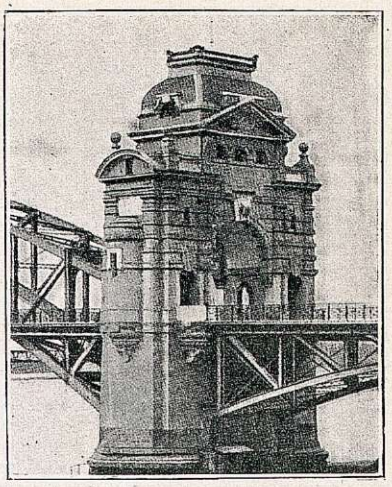


Fig. 392.—En Busserdorf.

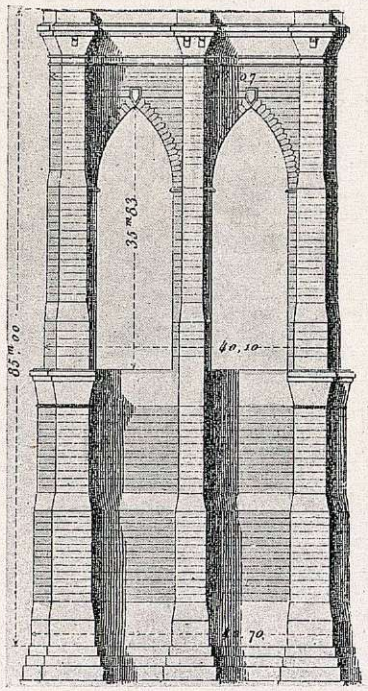


Fig. 393.—Alzado transversal del puente de Brooklyn (1867).

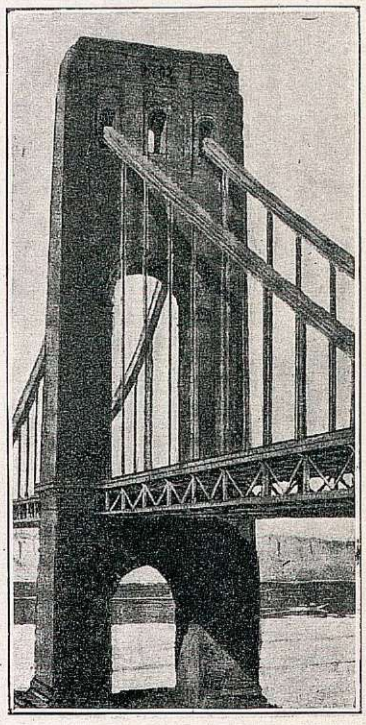


Fig. 394.—Puente sobre el Hudson (Nueva York) (1931).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Presentamos en las figuras 393 y 394 ejemplos del primero y último de los puentes colgados de Nueva York, con tramos cen-

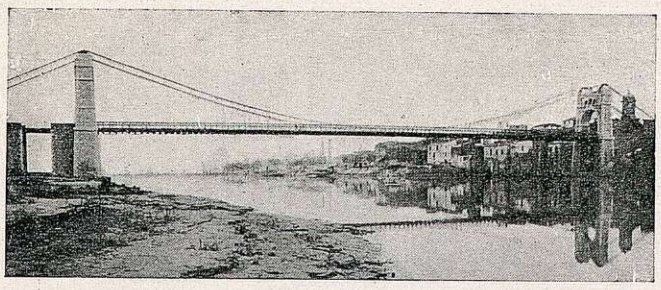


Fig. 395.—Alzado del puente de Amposta.

trales de 485 y 1.064 m. respectivamente (este es el *record* mundial de luces), y añadimos las vistas del único puente con puertas de este tipo ejecutado en España (figuras 395 y 396) en Amposta, sobre el Ebro (1).

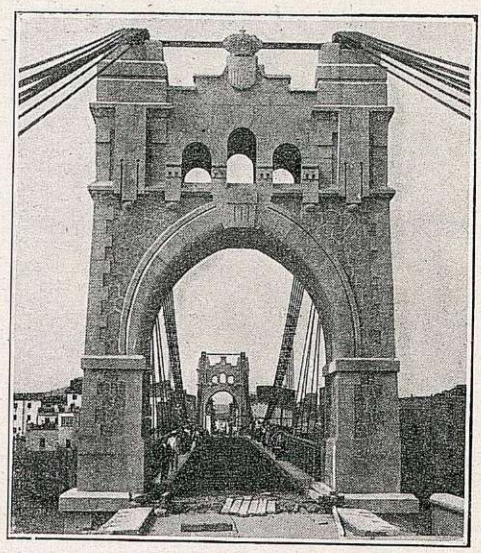


Fig. 396.—Puente de Amposta.

Decoración de los tramos rectos de H. A.—En algunos puentes de tramos rectos construídos dentro de poblaciones se ha procurado disfrazar la monotonía de sus largos planos lisos.

En la pasarela sobre el Turia, construída para la Exposición en 1909 y constituída por ocho tramos de 14 m. de luz, se ha conseguido (fig. 397) simulando que los frentes de las vigas son unos arcos rebajados (2).

(1) Adjudicado al autor mediante concurso de proyectos y construcción, descrito en la *Revista de Obras Públicas*. Año 1914, págs. 527, 539 y 551.

(2) Proyectado y construído por la Sociedad *Construcciones y Pavimentos*.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En el puente del Kursaal, en San Sebastián (fig. 386), hemos considerado preferible incrustar en los paramentos vistos de los grandes tramos rectos de 22 m. unas placas lisas de mármol rojo que ofrecen buen aspecto.

En los tramos rectos del puente Victoria (fig. 383) nos hemos limitado a añadir en sus apoyos unas ménsulas de piedra artificial.

Para los demás tramos rectos hemos siempre prescindido de or-

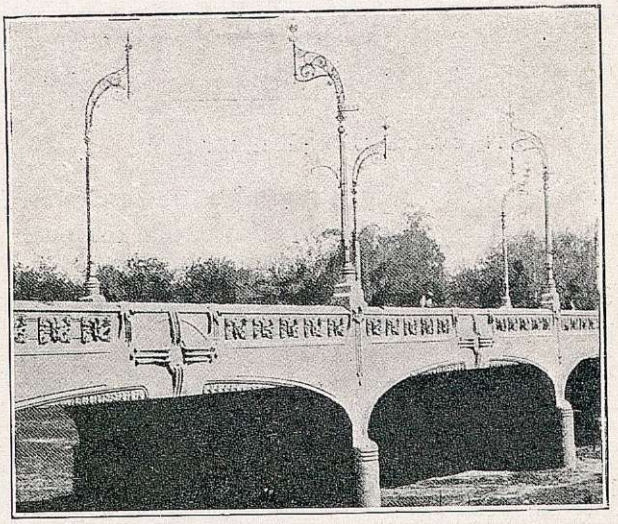


Fig. 397.—Pasarela sobre el Turia.

namentación alguna, limitándonos a chaflanar sus aristas mediante triangulitos rectangulares de madera de 3 a 5 cm., dispuestos en el fondo de los moldes de sus vigas en una longitud algo menor que la luz del tramo. La vista se ha acostumbrado a estas formas desnudas, que ya no entrañan la sensación flectora que se experimentaba en los primeros tiempos del hormigón armado.

Andenes en voladizo.—Como hemos ya dicho, en la mayor parte de los puentes de H. A. conviene disponer los andenes en voladizo, lo que permite reducir la dimensión de pilas y estribos y el coste de los forjados.

Así lo hemos hecho en todos los modelos oficiales, tanto para puentes de carreteras como para los de ferrocarriles.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En las primeras aplicaciones de esta disposición se creyó que esos voladizos, al tapar con su sombra parte de los arcos o vigas, afearía su aspecto.

Pero va extendiéndose su empleo hasta en puentes situados en poblaciones, y nos vamos acostumbrando a esa racional disposición, como en el de Amminodiers, en Toulouse (tomo III, cap. XIII), en

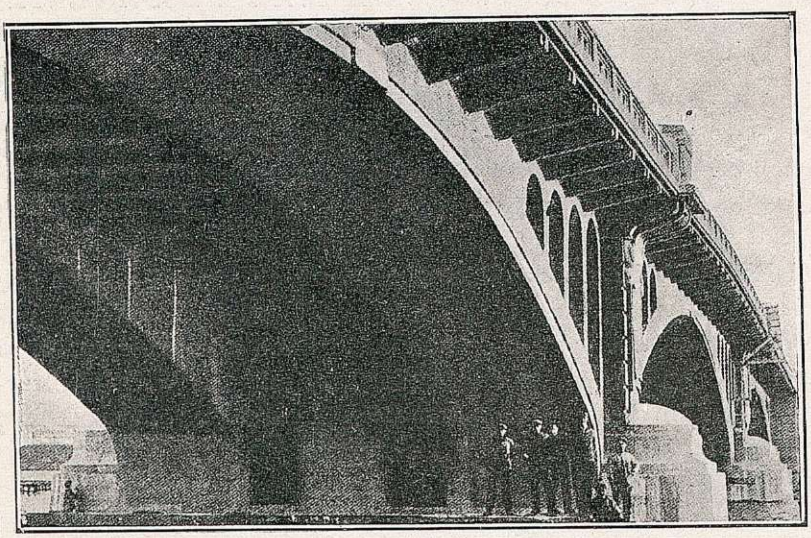


Fig. 398.—Puente de la Exposición de Lieja.

el de Galcerán (fig. 266 de este tomo) y en el recientemente construído para la Exposición de Lieja (fig. 398).

Hasta pueden considerarse como un elemento decorativo.

No hay que abusar.—Todos los ejemplos que hemos citado se refieren a grandes puentes, la mayor parte de ellos dentro de poblaciones importantes; pero algunos novatos ingenieros, copistas serviles de aquellos ejemplos, considerados como clásicos, reprodujeron muchos de sus ornamentos en puentes extraviados de escasa importancia y casi invisibles por las breñas y el musgo que los tapan (1).

(1) Ellos merecen ser criticados, pero aun más los Centros consultivos que aprobaron aquellos proyectos poco meditados.

Confiesa sinceramente el autor haber pecado en tales excesos, en su pri-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Debemos insistir en que el gusto artístico moderno, que ahora más que nunca coincide con la mundial e imperiosa compresión de gastos superfluos, obliga a los ingenieros a suprimir casi radicalmente la ornamentación de los puentes, incluso en poblaciones.

§ III.—LA EVOLUCION DECORATIVA DE LOS PUENTES EN EL SIGLO XX

En efecto; uno de los temas que se han discutido con gran interés y extensión en el Congreso de Puentes de 1928, en Viena, y en el del Hormigón armado de 1930, en Lieja, ha sido el de la Decoración y Estética de los Puentes de hormigón (1).

El hormigón provocó la evolución por etapas.—El empleo creciente del hormigón en los puentes que, aunque ya iniciado en el siglo XIX, no tomó carta de naturaleza hasta el siglo presente, al permitir el aligeramiento de las siluetas y nuevas formas constructivas, hubiera debido desde el primer momento provocar un nuevo estilo decorativo correspondiente al nuevo material, así como la apa-

---

mer proyecto de puente de piedra (¡ha cuarenta años!); se percató pronto al visitar sus obras de cuán impropio eran aquellas filigranas de labra y de sillería aplantillada, en un riachuelo asturiano; aquel nuestro primer puente, avergonzado sin duda de su abusiva vestidura, la oculta hoy bajo el mugre que lo cubre.

Igual y justa penitencia sufre el nuevo puente de Orense, en el que su autor nos rechazó muchas piedras de sillería *porque se diferenciaban en su tonalidad,* obligándonos además a tallar molduras profusas y ornamentos con igual perfección que si se tratara de una catedral (!).

(1) En un hermoso número extraordinario de febrero de 1931, de la revista *Le Moniteur des travaux Publics,* exclusivamente dedicado a la *Estética de los puentes,* se recuerda y se asiente con la opinión que formuló el autor al intervenir en la discusión de aquel tema en el Congreso de Viena. Considera oportuno el autor reproducir las ideas personales que allí expuso y que se consignaron en el acta de la sesión correspondiente, evidenciando la evolución decorativa de los puentes en el siglo XX.

Sólo citará el autor como ejemplos de esta evolución algunos de sus proyectos, que podrá criticar con entera libertad, ya que siempre nos imponen más respeto los trabajos de nuestros colegas, aun los más desacertados, que los propios, a los que podemos, sin reparo alguno, aplicar el escalpelo.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

rición de las grandes construcciones metálicas, inició un estilo decorativo del hierro, vinculado en la Exposición de 1889 (1).

Pero no fué así; la docilidad del hormigón le permitió, por el contrario, amoldarse sucesivamente a la evolución del arte arquitectónico, cuyas transformaciones radicales se han sensibilizado en los últimos treinta años.

Estamos en un período de gestación: artistas y constructores perseguimos un nuevo estilo, porque sentimos que las antiguas tradiciones artísticas son anacrónicas para los nuevos materiales. Pero aunque no ha cristalizado aún el *estilo* propio del hormigón, vamos evolucionando en sus aspectos decorativos casi por saltos, aunque en etapas sucesivas y rápidas, que consideramos características y que pueden definirse y catalogarse.

Imitación de la piedra.—La primera y natural tendencia de los ingenieros cuando emplearon el hormigón en los puentes fué la de *imitar* a la sillería.

La docilidad del nuevo material, que permite sin gran coste realizar los más complicados despiezos y perfiles de la arquitectura clásica, impulsó a los técnicos a reproducir los tipos de arcos, pilas y estribos que se ejecutaban con gruesos sillares, con estereotomías y labras complicadas; en ellos se reproducían servilmente los ornamentos decorativos de los siglos XVIII *y* XIX.

Aquellos puentes y viaductos fueron copias de los de sillería; en sus bóvedas, estribos y pilas, en las impostas y pretiles, en los obeliscos y puertas se imitaron los aparejos de los puentes de piedra; pero las piezas, en lugar de labrarse penosamente, se moldeaban con hormigón.

Para perfeccionar esta pueril falsificación empleamos en los paramentos de los sillares artificiales, morteros con arenas obtenidas por trituración mecánica de las piedras que se querían imitar.

Podemos caracterizar esta etapa con nuestro puente de María Cristina (figs. 384 y 385), construído en 1904, que, aunque de hormigón armado, oculta vergonzosamente el material que lo constituye; quisimos con un hormigón barato dar la sensación de un puente

(1) Véase nuestra Conferencia "Evoluciones Constructivas", Revista de *Obras públicas* de 15 de febrero de 1925.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

costoso, debilidad humana de *aparentar riqueza,* simbólica de aquella época de transición entre los siglos XIX y XX.

Profusión ornamental.—Sobrevino pronto la reacción contra esta evidente depravación del gusto.

Nos percatamos que era ridículo en puentes de carácter perma-

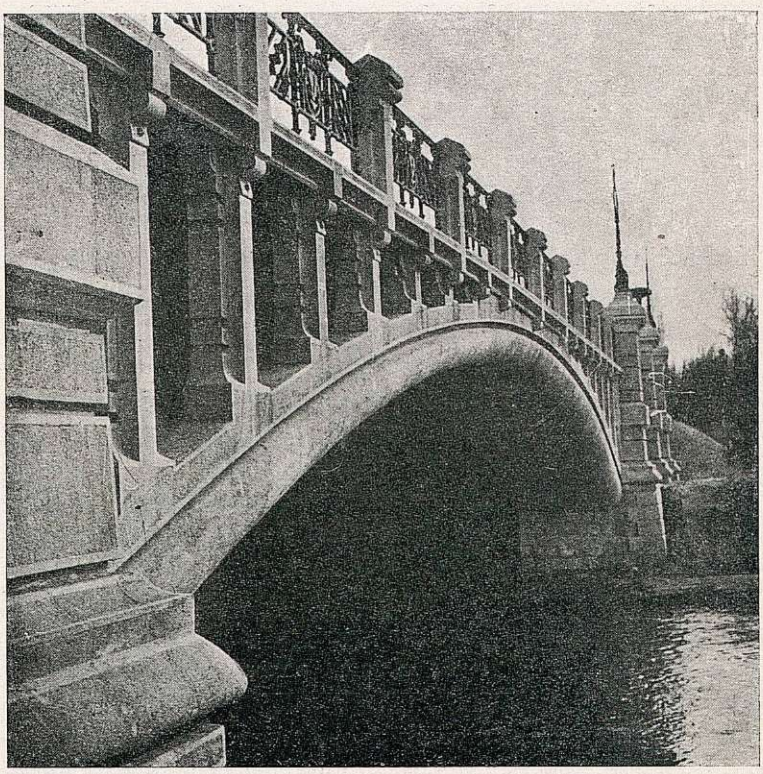


Fig. 399.—Puente Victoria, en Madrid.

nente y público, en cuya concepción debe presidir la seriedad, imitar materiales innecesarios y filigranas arquitectónicas de templos y palacios.

Se prescindió entonces de simular dovelajes de bóvedas y tímpanos y se buscó el efecto estético dejando el hormigón a la vista,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

pero utilizando su docilidad de moldeo para decorar los paramentos vistos con gran profusión ornamental.

Ya que nada costaban los perfiles y esculturas, se multiplicaron las molduras y arabescos.

A esta época corresponde nuestro proyecto del puente de Reina Victoria en Madrid (1910), también de hormigón armado, pero ya con tímpanos aligerados a la vista (fig. 399).

Fantasías modernistas.—Sobrevinieron entonces nuevas tendencias arquitectónicas, desterrando la clásica decoración, en pos de originales disposiciones.

No sólo se suprimían las imitaciones de material, sino los tradicionales ornamentos.

Eran menester nuevas formas y dibujos, persiguiendo un *Arte Moderno,* que así se denominaba jactanciosamente.

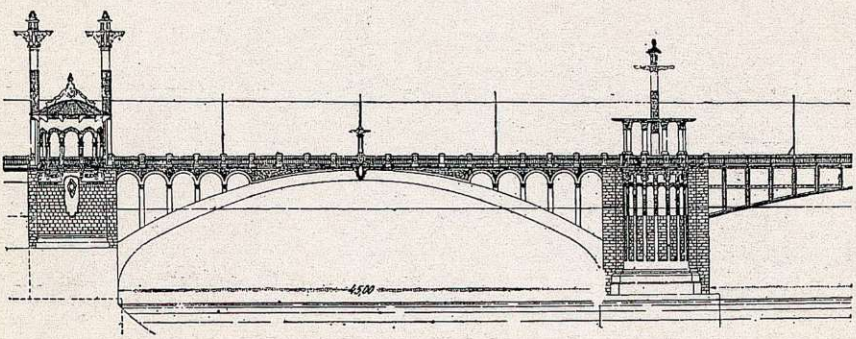


Fig. 400.—Primer proyecto del puente de San Telmo (Sevilla).

A esta etapa corresponde mi primer proyecto del puente de San Telmo en Sevilla (fig. 400), en el que los arquitectos que me prestaron su valiosa colaboración en 1920, creyeron acertar con el gusto entonces dominante en aquella alegre región española.

Felizmente, aunque aquella decoración fué aprobada, con elogios de cuantos la informaron, pasaron algunos años antes de construir el puente, tiempo suficiente para que el modernismo quedara relegado al olvido, sobreviniendo entonces la actual evolución de la Arquitectura.

Sobriedad decorativa.—En efecto, la tendencia de estos últimos años, es la de perseguir la sencillez de líneas y una extremada

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

sobriedad en la decoración; hasta hay quien preconiza suprimirla totalmente.

Cuando se nos ordenó la construcción del citado puente de San Telmo en Sevilla, los mismos arquitectos autores de aquellas decoraciones, que con tanta complacencia presentamos en 1920, se opu-

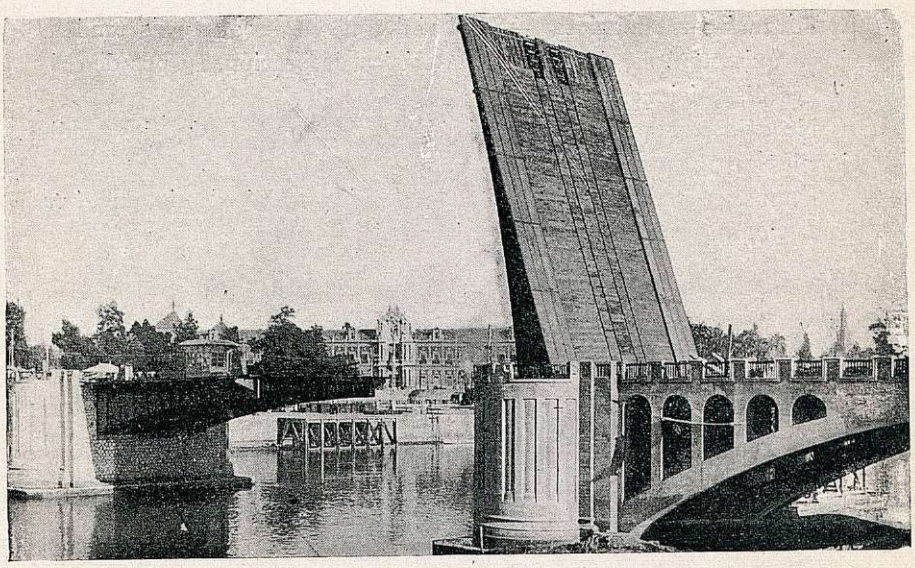


Fig. 401.—Puente de San Telmo (más detalles en el capítulo IV).

sieron a que las realizáramos, por encontrarlas impropias y trasnochadas.

Modificaron entonces los alzados, suprimiendo impostas, pérgolas y obeliscos, ejecutándose el puente con la sencillez de la figura 401.

Sinceridad constructiva.—La hermosura de un puente debe sólo obtenerse por la silueta de sus formas y por las proporciones de sus elementos.

Sus paramentos de hormigón no deben ocultarse con precarios enlucidos ni con grotescas imitaciones; *pero es aún más absurdo el simular las juntas,* puesto que la supresión de éstas constituye una de las grandes ventajas del nuevo material.

Estamos en una era de sinceridad y discreción constructiva, que

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

no está reñida ni con la elegancia ni con la belleza de las obras, en lo que pueden y hasta muchas veces deben interesarse nuestros colegas los arquitectos.

§ IV.—LA COLABORACION DE LOS ARQUITECTOS

Antiguamente los constructores de edificios y puentes eran los grandes artistas escultores y pintores.

Hoy la educación de los ingenieros, casi exclusivamente científica, nos impide disciplinarnos en el estudio del arte; antes, todos los técnicos practicaban el dibujo ornamental y decorativo; hoy sólo hay tiempo para aprender el dibujo lineal.

Por todo ello, salvo algunas eminencias enciclopédicas, pero muy excepcionales, los ingenieros vulgares nos sentimos incapacitados para proyectar bellas obras arquitectónicas.

En general, el ingeniero, que no ha podido educarse artísticamente, no sabe decorar con gusto; podrá copiar molduras y decoraciones, pero no imaginar ornamentos originales.

Debe, pues, recurrir a la colaboración de los arquitectos tan pronto como la obra que proyecte exija cierta tendencia artística, sobre todo con esta evolución decorativa, en que debe prescindirse de los anticuados modelos.

Pero así como los ingenieros calculan mucho y dibujan poco, muchos arquitectos croquisan con envidiable soltura, aunque suelen despreciar la científica estabilidad.

Acostumbrados a dejarse guiar por sus lápices, persiguiendo la belleza en la forma, tienden a imaginar disposiciones atrevidas o monumentales. Sienten el arte, pero a veces carecen del instinto mecánico; las estructuras que conciben ofrecen aspecto original y hasta bello, pero algunos prescinden de la resistencia de materiales y aún más del presupuesto.

El arquitecto es ante todo un artista; el ingeniero, un científico y un economista: son dos mentalidades diferentes; para obtener una obra racional, se precisa armonizar ambas especialidades.

El ingeniero tiene, pues, que sujetar, que comprimir los entusiasmos artísticos de su colaborador el arquitecto, si éste se desbordara, limitando su intervención a la puramente decorativa y ornamen-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tal. Aun así, se observan algunos excesos y desaciertos, por desequilibrarse la ponderación indispensable entre la Técnica que debe dominar en los puentes y el Arte que ha de amoldarse a aquélla, sin sumergir nunca las proporciones de la estructura.

Sigamos, pues, todos la simpática evolución moderna hacia la *sinceridad,* característica de esta época; persigamos en nuestros proyectos la *sencillez* de disposiciones y la *sobriedad* y *discreción* de ornamentos, como se está consiguiendo en la indumentaria, en el arte y hasta en la oratoria.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CAPÍTULO XIV

RESULTANTES DE MI EXPERIENCIA

Muros.—Pequeñas obras.—Cimientos.—Anteproyectos.—Puentes de fábrica. Puentes de hormigón armado.—Obras especiales.

Aunque en los tres anteriores tomos de este libro procuré resumir su contenido, y en un gran número de sus capítulos, así como en los de este cuarto tomo, he deducido conclusiones comparativas de los ejemplos presentados, al terminar este curso de *Puentes de fábrica y hormigón armado,* creo útil sintetizarlas estableciendo las resultantes muy esquemáticas de la experiencia adquirida en centenares de puentes y en cuarenta y cuatro años de intensa labor profesional.

Muros.—Deben evitarse los escalonados interiores, por ser preferibles los *taludes lisos y verticales,* y *aun mejor en desplome,* cuando sea posible.

Los muros largos y altos de acompañamiento de los puentes pueden resultar más caros que grupos de pontones de fábrica o de H. A. Conviene comparar estas soluciones por medio de anteproyectos, rápidamente calculados con los modelos oficiales de las pequeñas obras y los de tramos rectos de H. A.

Los muros de H. A. no son económicos sino en casos obligados, por carestía de materiales o circunstancias especiales. Deben entonces preferirse los tipos de contrafuertes interiores y solera, sobre los que el peso del terraplén contribuya a la estabilidad del muro.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Pequeñas obras.—*No debe despreciarlas el Ingeniero,* sino dedicarles especial atención, pues, como son muchas, su estudio influye en los presupuestos.

Cuando no cuadren los Modelos oficiales de estas pequeñas obras con las inclinaciones del suelo, deben proyectarse *a la medida del terreno.*

En vaguadas con pendiente, debe utilizarse ésta, *que no cuesta nada,* para reducir las luces, *que salen caras.* Con caños simples o grupos de caños se obtienen desagües hidráulicos considerables y con menor gasto que con tajeas o alcantarillas.

Las alcantarillas y pontones deben proyectarse con los materiales más económicos en la localidad, y sus muros en ala con las inclinaciones en planta y alzado que el terreno y la dirección de la vaguada pidan en cada emplazamiento.

Si los ríos no fueran caudalosos, pueden, en muchísimos casos, *substituirse ventajosamente los puentes por grupos de pontones* de 6 a 9 metros de luz, mediante tramos rectos de H. A. sobre palizadas simples. Así lo hemos hecho en un gran número de casos en Marruecos, que tienen quince años de existencia. *Repitiéndose los tipos,* resultan más económicos que los pontones de fábrica.

Cimientos.—*Los cimientos mandan* en la elección del tipo y luces de obras y, sobre todo, de los puentes. Pero debe aplicarse diferente criterio, según la importancia de la obra, respecto a las condiciones de su inconmobilidad. *Sólo habrá que cimentar a todo evento* aquellos puentes a cuya permanencia esté ligada la vida económica de una región. Los que sirvan intereses locales o particulares, pueden tener cimientos más precarios y baratos, porque la ruina de algunos de ellos no produciría sino perjuicios momentáneos e inferiores en todo caso a las *economías y a sus intereses compuestos* obtenidos en la totalidad de los cimientos de todas las obras de una vía.

Cuando no se pueda cimentar directamente, sino con agotamientos costosos y de importancia desconocida, son preferibles los cimientos indirectos con pilotaje, y entre éstos los de H. A., ya sea para apoyar sobre ellos la solera de repartición de pilas y estribos, ya para constituir éstos apoyos con palizadas en prolongación de los pilotes de cimientos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Se reduce la importancia de los agotamientos con recintos de tablestacas metálicas, pero aun es más segura, y casi siempre más económica, la cimentación por pozos con *cajones sin fondo de H. A.* hincados por el sistema indio, que pueden incluso prepararse para seguir hincándolos con aire comprimido. En muchos puentes estos tipos de cajones permitieron evitar los cimientos neumáticos.

En diques, muelles y hasta en diques de carena, la solución de *grandes cajones con fondo de H. A.* ofrece frecuentemente grandes ventajas sobre los demás procedimientos de cimentación.

Han de extenderse también los cimientos obtenidos por *consolidación del suelo mediante inyecciones de cemento,* que substituyen ventajosamente a los de hormigones sumergidos.

Los *cimientos enteramente neumáticos* sólo están justificados en puentes de importancia y terrenos muy permeables que exijan grandes profundidades y cuando tengan que aplicarse a bastantes apoyos, entre los que se repartan sus considerables gastos de instalación y trabajo. En todo caso, conviene emplear cajones de H. A., que son mejores y más baratos que los metálicos.

Anteproyectos.—Los proyectos de puentes, viaductos, acueductos y sifones exigen la fijación de los cimientos, cubicación, desagüe y rasantes y la previa comparación de los anteproyectos con las diversas luces y disposiciones más apropiadas a cada caso.

Este estudio se facilita mucho con los Modelos oficiales de que disponemos en España y permitirá la inmediata eliminación de muchas soluciones. En pocos días de trabajo podrá así el Ingeniero acercarse a la solución óptima; esos anteproyectos le harán casi siempre prescindir de las grandes bóvedas a que suele inclinarse la tendencia vanidosa de superación.

No debe olvidarse en estos estudios comparativos de cimientos y alzados, que a las economías obtenidas por la elección de las luces y tipos más baratos han de añadirse virtualmente *los intereses compuestos* de aquéllas, que permitirían, al cabo de pocos años, construir otros puentes nuevos, amoldados a las futuras necesidades y materiales.

Es. por lo tanto, pueril la vulgar creencia en la superioridad de su eterna duración que se atribuye a los puentes de piedra, en cuanto su coste exceda al de otras soluciones.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Puentes de fábrica.—Los de sillería no deben, pues, construirse, sino cuando haya inmediatas canteras de fácil labra y, a lo sumo, en paramentos; para el resto de bóvedas basta con sillarejo, o mejor aún, el hormigón en masa, que también debe emplearse en la mayor parte de las pilas y estribos y que *es el material por excelencia para los puentes.*

Cuando sea inevitable el empleo de luces de más de 40 m., y para anchos entre barandillas hasta 8 m., convienen las bóvedas continuas, pero *reduciendo su anchura mediante andenes en voladizo de H. A*

Para anchuras mayores resultan más económicas las *bóvedas gemelas* con anchuras totales de 1/3 próximamente de la distancia entre barandillas, *con tímpanos y tableros de H. A.*

Cuando los cimientos ofrezcan peligro de asiento y no puedan o no convengan tramos rectos o arcos sin empuje de H. A., *pueden articularse las bóvedas de fábrica.*

Puentes de hormigón armado.—En la mayor parte de los casos podrán proyectarse *tramos rectos de H. A.,* de alma llena e independientes, de 10 a 20 m. de luz, que es la solución más barata, sobre palizadas dobles de H. A. en carreteras o pilas de hormigón en masa para ferrocarriles.

En rasantes muy bajas, sobre todo si se repite el número de tramos, convendrán frecuentemente los *arcos superiores,* tipo Vierendeel, atirantados por el tablero.

Pero si cupieran bajo la rasante, son más económicos los *arcos inferiores* rebajados de 20 a 40 m. de luz, en los que pueden aplicarse los Modelos oficiales. Serán muy pocos los puentes en los que las luces de sus tramos o arcos tengan dimensiones obligadas y fijas, distintas de las calculadas en dichos modelos.

Las *articulaciones de los arcos* no convienen sino para luces comprendidas entre 40 y 80 m. y cuando no ofrezcan seguridad los cimientos.

Consideramos entonces preferible la *triple articulación Freyssinet,* mientras no se compruebe la seguridad de las de *Uralita,* preconizadas por Sánchez del Río.

Los tramos rectos hasta 20 m. y los arcos inferiores de H. A. en luces superiores, suelen ser más baratos que las bóvedas de fábrica.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Los demás tipos, de tramos rectos con vigas aligeradas triangularmente o las grandes luces, o los arcos colgados o en cantilever, no deberán emplearse sino en casos excepcionales muy justificados.

Obras especiales.—El estudio de los *viaductos,* cuando la rasante no es obligada, entraña, no sólo el de los tipos y luces de los tramos, sino la *comparación financiera* de todas las soluciones posibles de la obra, en la que debe intervenir *el coste y los intereses compuestos de los gastos de tracción,* por las longitudes y rampas de las vías de acceso al viaducto, que éste reduce o aumenta.

Cuando no pueda variarse la rasante, y aun para viaductos de ferrocarril, con alturas de 60 m., deben compararse además las soluciones de arcos *con las de tramos y palizadas rectos de H. A.,* similares a los viaductos americanos de madera, pues no hay razones fundamentales para rechazar este tipo, que pudiera ser más económico en muchos casos.

Asimismo deben compararse, financiera y simultáneamente, los tipos de *acueductos y sifones posibles,* comparando las economías que se obtengan en las obras por los aumentos de pendientes piezométricas, con las pérdidas consiguientes de extensión regada o de energía, que deben capitalizarse.

Respecto a los tipos, serán casi siempre preferibles los de H. A., aplicados en España con gran originalidad.

En los puentes oblícuos, así como en los viaductos en curva o rampa, deben evitarse los aparejos y disposiciones complicadas, ya que puedan más económicamente construirse con tramos rectos de H. A. sobre pilas circulares.

Por último, respecto a decoración, debe ponderarse la Técnica y el Arte, suprimiendo cuanto sea innecesario, y únicamente en grandes poblaciones y obras monumentales debe recurrirse a la colaboración de los arquitectos, si bien con respeto de las siluetas y reduciendo los ornamentos al estilo sincero, sencillo, sobrio y discreto, característico de la época moderna.

* * *

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

APÉNDICE 1.°

PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS Y GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE HORMIGON ARMADO PARA FERROCARRIL

(Aprobadas por Real orden de 9 de diciembre de 1930.)

Artículo 1.° Las obras a que corresponden los proyectos de puentes de hormigón armado de la presente colección, habrán de ejecutarse con la forma de los elementos, sección de los mismos, cuantía metálica, colocación de las armaduras, sección y disposición de ellas, exactamente en la forma consignada en los planos de estos proyectos, no pudiendo introducir variantes que afecten a su resistencia ni a la disposición general de los elementos.

Artículo 2.° El material a emplear en la colección de estos modelos será la fábrica heterogénea de hormigón armado, en la que las condiciones de los materiales y su empleo se sujete a las prescripciones que se consignan en los artículos siguientes de este pliego.

Arenas.

Artículo 3.° Las arenas que formen el mortero de los hormigones serán preferentemente silíceas, pero podrán emplearse de otra composición mineralógica siempre que se ajusten a las condiciones de tamaño, proporción y resistencia de los morteros y hormigones que se prescriben a continuación.

Artículo 4.° La composición granulométrica de las arenas debe dar las siguientes proporciones de peso: granos gruesos, comprendidos entre 2 y 4 milímetros, el 50 por 100 del total sólido, por lo menos; de granos medios,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

comprendidos entre medio y dos milímetros, deberá haber a lo sumo las quince centésimas del total; quedando el resto como elemento fino.

Artículo 5.º Las arenas serán limpias, para no contener cantidad de arcilla que exceda del 10 por 100, como máximo, lavándose a tal efecto en caso necesario.

Su forma será preferentemente redondeada, excluyendo desde luego los granos en forma de agujas que resultan principalmente en la trituración de rocas duras.

Piedras.

Artículo 6.º La piedra para emplear en los hormigones de estos modelos será en general silícea, rodada y limpia, cuya composición granulométrica podrá variar según la sección de las piezas, del modo siguiente:

Para piezas de hormigón armado de grueso o altura menor de 30 centímetros, el tamaño máximo de la grava no excederá de 30 milímetros.

En las piezas de mayor altura o grueso, podrán emplearse gravas hasta de 50 milímetros.

Tanto en éstas como en aquéllas la proporción de granos gruesos será el 50 por 100 próximamente del total de grava, no conteniendo mayor proporción del 20 por 100 de elementos finos, cuyo tamaño sea el total del máximo aceptado.

Artículo 7.º Podrá emplearse para los hormigones piedra partida en lugar de rodada siempre que sea dura, compacta y que se prescinda de los granos angulosos en forma de flecha y que la resistencia que se alcance en los ensayos cumpla las cifras que se citan en el artículo 14.

Cemento.

Artículo 8.º El cemento para la fabricación de los hormigones será portland artificial, y las condiciones físicas y químicas que debe cumplir son las prescritas en el pliego oficial vigente para Obras públicas. (Apéndice 2.º)

Artículo 9.º Podrán emplearse otros cementos de naturaleza distinta del portland artificial, siempre que el Pliego que sea vigente para recepción de cementos en Obras públicas lo autorice, y que la resistencia del hormigón, según se indica en el artículo 12, exceda de las cifras indicadas en él, además de no tener un coeficiente de elasticidad que exceda del del portland en más de un 20 por 100 y que la deformación lineal sea comparable.

Agua.

Artículo 10. El agua que se emplee en la fabricación de los hormigones no contendrá sales magnésicas, sulfato cálcico ni materias orgánicas que la hagan impotable. Las aguas calizas podrán emplearse a falta de otras

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

mejores si su grado hidrotimétrico no excede de sesenta. Las aguas con légamo arcilloso muy fino, que sólo tengan esta impureza, no habrá inconveniente en emplearlas para este efecto.

Acero.

Artículo 11. Las armaduras para el hormigón en estos modelos de puentes serán del llamado acero dulce, caracterizado por el coeficiente de elasticidad, que no deberá exceder de 3.000 kilos por milímetro cuadrado.

La resistencia mecánica de este metal no bajará de 35 kilogramos por milímetro cuadrado, y el alargamiento mínimo será del 20 por 100, ensayado en probetas de 20 centímetros de longitud.

Las barras redondas podrán ser dobladas en frío hasta describir una semicircunferencia alrededor de una barra, cuyo diámetro sea vez y media el de la barra ensayada, sin que se produzcan grietas ni pelos.

Ninguna barra estará soldada, debiendo venir de fábrica con la longitud consignada en el proyecto.

Proporciones.

Artículo 12. Las proporciones en que deberán entrar para la fabricación del hormigón sus elementos componentes, serán las siguientes:

Para las losas, tramos rectos y superestructuras de los arcos.

Cemento	300 kgs.	por	metro	cúbico.	
Gravilla	860 litros	—	—	—	
Arena	400 —	—	—	—	
Agua (como promedio).....	140 —	—	—	—	

En los arcos se empleará la cantidad de 350 kilos de cemento, a igualdad de los demás elementos.

La cantidad de agua dependerá del clima y la estación, debiendo dosificarse como consecuencia de varios ensayos, en los que la cifra aceptada no dé para resistencia menor coeficiente del que se consigna en el artículo siguiente.

Artículo 13. El amasado de los hormigones podrá hacerse a brazo, aunque preferiblemente debe hacerse a máquina.

Siempre se efectuará mezclando previa e íntimamente en seco el cemento y la arena primero; la mezcla así obtenida y la piedra después, agregando, finalmente, el agua del modo más uniforme posible, removiendo el conjunto para obtener una masa homogénea.

La fabricación del hormigón se suspenderá cuando la temperatura sea inferior a tres grados sobre cero centigrado.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Si fuera urgente el hormigonado para terminar una pieza o para hacer unión entre ellas, con temperaturas inferiores a la cifra citada, se aumentará la dosificación del cemento en una quinta parte, calentando el agua hasta 40 grados y recubriendo inmediatamente de moldear con sacos, que se regarán con agua a esa temperatura cada cinco horas durante dos días.

Cuando la temperatura ambiente sea inferior a dos grados bajo cero, no se hormigonará en ningún caso ni aun con tales precauciones.

Resistencias.

Artículo 14. De las pastadas hechas en las condiciones indicadas en el artículo anterior, se harán probetas de 20 centímetros de arista con hormigón, igual al que vaya a emplearse en obra.

Con la dosificación de 300 kilogramos de cemento por metro cúbico, la resistencia que deben alcanzar las probetas con las proporciones citadas y con una compresión producida por una maza de kilo y medio cayendo desde 20 centímetros de altura, con veinte golpes sucesivos, será la siguiente:

A los siete días.....	130 kgs.	por	centímetro	cuadrado.
A los veintiocho días.....	200	—	—	—

En los hormigones de los arcos, en que la proporción es de 350 kilos por metro cúbico, las resistencias excederán de aquellas cifras en un 20 por 100.

Artículo 15. Los moldes para la fabricación de los elementos de obra serán de madera o metálicos, pero siempre deberán ofrecer rigidez suficiente para soportar sin deformación sensible el peso y apisonado del hormigón que se eche encima.

Los enlaces de los distintos elementos serán sólidos y sencillos, de modo que su montaje y desmolde se verifique con facilidad sin golpes y sin que pueda quedar ninguna pieza dentro del hormigón.

Los moldes que hayan de servir para unidades sucesivas serán limpiados cuidadosamente y rectificados.

Artículo 16. Las cimbras de sustentación de los moldes, en los tramos en arcos o en los rectos, serán suficientemente rígidas para no dar una deformación mayor del doble de la flecha elástica que debe tolerarse para el tramo cargado, y como precaución deberá disponerse en ella una contraflecha que tenga ese valor.

Artículo 17. Las barras de armadura se ajustarán exactamente a las formas y dimensiones señaladas en los planos.

Los empalmes que sea preciso ejecutar se harán con ganchos terminales, cuyo diámetro sea seis veces por lo menos el diámetro de la barra, y en el que la parte solapada entrambas barras a empalmar tenga por lo menos 30 diámetros, recubierta esta parte con doble capa de alambre.

En los casos en que haya espacio suficiente será preferible hacer el empalme soldando las barras y recubriendo en una zona de 30 diámetros la

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

parte empalmada con otras barras, cuya suma de diámetros proporcione una sección superior a las de las barras a empalmar, teniendo éstas gancho terminales y unidas entre sí y con la empalmada por capa de alambre.

Antes de proceder al hormigonado de la pieza estarán colocadas las armaduras en su posición exacta y se rociarán con lechada de cemento para recibir sin oquedades el hormigón del moldeo.

Artículo 18. El hormigón se verterá en los moldes, estando éstos limpios, procediendo después al apisonado en golpes pequeños y sucesivos hasta que refluya la masa.

Al interrumpir el hormigonado se dejará la superficie terminal lo más irregular posible, recubriéndola en caso necesario por medio de sacos, que la preserve de los agentes atmosféricos.

Si la superficie del hormigón, al comenzar el nuevo hormigonado, estuviera ya fraguada, se recubrirá con una delgada capa de mortero rico antes de hormigonar y después de haber frotado esa superficie con cepillo de alambre.

Artículo 19. En los puentes de arco que llevan en los arranques la hélice de zunchado para aumentar su resistencia a la compresión, se colocarán estas hélices con la mayor exactitud posible dentro del molde, procurando hacer el hormigonado con todo el esmero necesario para asegurar la mayor compacidad en aquella zona de máximo trabajo.

Artículo 20. Los moldes no se quitarán antes de los siete días de terminación del hormigonado, pero dejando siempre puntales que resistan el peso, que habrán de conservarse hasta los veintiocho días del final del hormigón puesto en obra.

Las pruebas de los tramos se harán con los trenes de la Instrucción oficial que ha servido de base para el cálculo, registrándose por medio de flexímetros la máxima flecha que se alcance en los tramos en la condición más desfavorable de carga, no debiendo exceder esa flecha, después de los veintiocho días de terminación de la obra, de la cifra 1 : 4000 de la luz.

Estas pruebas deben hacerse en tiempo transcurrido de más de veintiocho días del último elemento hormigonado como mínimo, siendo preferible dejar transcurrir los noventa días del hormigonado del elemento resistente.

El ingeniero de Caminos encargado de la redacción,

Alfonso Peña Boeuf.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

APÉNDICE 2.°

PLIEGO GENERAL DE CONDICIONES PARA LA RECEPCION DE LOS AGLOMERANTES HIDRAULICOS EN LAS OBRAS DE CARACTER OFICIAL

(Aprobado por R. O. de 25 de febrero de 1930.)

CAPITULO PRIMERO

Cemento Portland.

Artículo 1.° *Definición.*—Se aplica la denominación de cemento Portland al producto reducido a polvo fino, que se obtiene por la calcinación, hasta un principio de fusión, de mezclas muy íntimas, artificialmente hechas y convenientemente dosificadas, de materias calizas y arcillosas, sin más adición que la de yeso, que no podrá exceder del tres por ciento (3 por 100).

Artículo 2.° *Composición química.*—El peso de la materia insoluble en ácido clorhídrico diluído será inferior al uno y medio por ciento (1,5 por 100).

No se considerará como insoluble la sílice gelatinosa que pudiera producirse.

El cociente de dividir el tanto por ciento en peso de la cal por la suma de los tantos por ciento en peso de sílice, alúmina y óxido férrico ha de quedar comprendido entre uno con ocho décimas (1,8) y dos con tres décimas (2,3).

El cociente de dividir el tanto por ciento de la sílice por el tanto por ciento en peso de la alúmina no ha de resultar inferior a dos y medio (2,5). Las cantidades en peso de magnesia y anhídrido sulfúrico no excederán del cinco por ciento (5 por 100) y dos y medio por ciento (2,5 por 100), respectivamente, ni la suma de ambas cantidades del seis y medio por ciento (6,5 por 100).

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

El azufre total no excederá del uno y veinticinco centésimas por ciento (1,25 por 100).

La cantidad de agua del cemento no excederá del dos por ciento (2 por 100) en peso, ni la pérdida de peso por calcinación será mayor del cuatro por ciento (4 por 100).

La toma de muestras y su envío al Laboratorio oficial se verificará dentro de un plazo de quince días de la fecha de la entrega.

Artículo 3.° *Finura de molido*.—Los residuos máximos en peso del cernido del cemento serán los siguientes:

Sobre el tamiz de novecientas mallas (900) por centímetro cuadrado, uno por ciento (1 por 100).

Sobre el tamiz de cuatro mil novecientas mallas (4.900) por centímetro cuadrado, dieciséis por ciento (16 por 100).

Artículo 4.° *Densidad real*.—La densidad real del cemento desecado será igual o superior a tres y cinco centésimas (3,05).

Artículo 5.° *Fraguado*.—El fraguado de la pasta normal de cemento conservado en agua dulce no empezará antes de cuarenta y cinco minutos (45), contados desde que se principió a amasar, y terminará antes de las doce horas (12), a partir del mismo momento.

Artículo 6.° *Estabilidad de volumen*.—La pasta normal de cemento tendrá un volumen constante, propiedad que se comprobará con el examen de galletas conservadas en el aire, en el agua dulce y sometidas a la acción del agua hirviendo.

Artículo 7.° *Resistencias*.—*Resistencias por tracción*.—Las resistencias mínimas de las probetas en forma de ocho, hechas con mortero compuesto de una parte en peso de cemento y tres de arena normal, serán las siguientes:

A los siete días (7), uno (1) en aire húmedo y seis (6) en agua dulce, diecinueve (19) kilogramos por centímetro cuadrado.

A los veintiocho días (28), uno (1) en aire húmedo y veintisiete (27) en agua dulce, veintitrés kilogramos y medio (23,5) por centímetro cuadrado.

Resistencia por compresión.—Las resistencias mínimas de las probetas en forma cúbicas hecha con mortero compuesto de una parte de cemento y de tres de arena normal, en peso, serán las siguientes:

A los siete días (7), uno (1) en aire húmedo y seis (6) en agua dulce, ciento noventa (190) kilogramos por centímetro cuadrado.

A los veintiocho días (28), uno (1) en aire húmedo y veintisiete (27) en agua dulce, doscientos ochenta (280) kilogramos por centímetro cuadrado.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CAPITULO II

Cementos de gran resistencia.

CEMENTOS ALUMINOSOS

Se llama cemento aluminoso al obtenido por la cocción de una mezcla íntima de la que son elementos esenciales la bauxita y el carbonato de cal, siempre que en el producto resultante la cantidad de alúmina sea inferior al cuarenta (40) por ciento y superior al treinta (30), y la de óxido de hierro no exceda del dieciocho (18) por ciento.

Artículo 8.° *Finura de molido.*—Dejará un residuo de cinco décimas (0,5) por ciento en el tamiz de novecientas (900) mallas, y menos del seis (6) por ciento en el de cuatro mil novecientas (4.900) mallas.

Artículo 9.° *Peso específico real.*—Será superior a tres con cinco centésimas (3,05).

Artículo 10. *Fraguado.*—No empezará antes de los treinta (30) minutos, ni terminará después de las cuatro (4) horas de amasado.

Artículo 11. *Estabilidad de volumen.*—Las galletas fabricadas con pasta pura, con la dosificación de agua suficiente determinada por ensayos previos, no acusarán grietas superficiales después del fraguado.

Artículo 12. *Resistencias.*—Con probetas en forma de ocho fabricadas con pasta pura, la tracción media en series de seis probetas no será inferior a veintiocho (28) kilogramos por centímetro cuadrado a las veinticuatro (24) horas, y llegará a sesenta (60) kilogramos por centímetro cuadrado a los tres días.

En hormigones compuestos de gravilla comprendida entre uno (1) y dos (2) centímetros y arena silícea de grano comprendida entre uno (1) y uno y medio (1,5) milímetros, dosificando a razón de ochocientos cuarenta (840) litros de gravilla, cuatrocientos (400) litros de arena, trescientos (300) kilogramos de cemento y ciento treinta (130) litros de agua, formando probetas cúbicas de veinte (20) centímetros de arista, comprimidas con treinta (30) golpes de maza de cinco (5) kilogramos de peso, cayendo de veinte (20) centímetros de altura, la resistencia a la compresión deberá exceder a las siguientes cifras:

A las veinticuatro horas, 220 kilogramos por centímetro cuadrado.

A los veintiocho días, 230 kilogramos por centímetro cuadrado.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CAPITULO III

Supercementos.

Se llama supercemento al cemento de gran resistencia inicial, que contiene los elementos esenciales del cemento Portland, en proporciones que pueden variar de aquéllos, siempre que las substancias nocivas (azufre, magnesia y anhídrido sulfúrico) no excedan de los límites admitidos para el portland, y que las adiciones, si las tuviere, no excedan del seis (6) por ciento.

Artículo 13. *Finura de molido.*—Dejará un residuo máximo de cinco décimas (0,5) por ciento en el tamiz de novecientas (900) mallas y un seis (6) por ciento en el de cuatro mil novecientas (4.900) mallas.

Artículo 14. *Peso específico real.*—Será superior a tres con cinco centésimas (3,05).

Artículo 15. *Fraguado.*—No deberá empezar antes de los treinta (30) minutos de amasado, ni terminará después de las diez (10) horas.

Artículo 16. *Estabilidad de volumen.*—La pasta normal de cemento tendrá volumen constante, propiedad que se compondrá por las galletas fabricadas al aire y sometidas a la acción del agua hirviendo.

Artículo 17. *Resistencias.*—La resistencia a la tracción sobre morteros 1 : 3 con arena silícea de 1 mm. a 1,5 mm., alcanzará las siguientes cifras:

A los tres días, 25 kilogramos por centímetro cuadrado.

A los siete días, 30 kilogramos por centímetro cuadrado.

A los veintiocho días, 38 kilogramos por centímetro cuadrado.

A la compresión las resistencias serán:

A los tres días, 250 kilogramos por centímetro cuadrado.

A los siete días, 350 kilogramos por centímetro cuadrado.

A los veintiocho días, 450 kilogramos por centímetro cuadrado.

En hormigones, sobre cubos de veinte (20) centímetros de arista, dosificados con cuatrocientos (400) litros de arena silícea de 1 a 1,5 mm., ochocientos cuarenta (840) litros de gravilla redondeada de 1 a 2 cm., ciento treinta (130) litros de agua y trescientos (300) kilogramos de cemento, después de comprimir la masa por medio de una maza de cinco (5) kilogramos cayendo de veinte (20) centímetros de altura sobre una chapa que tape la probeta, dando veinte (20) golpes, la resistencia deberá alcanzar los siguientes valores:

A los dos días, 180 kilogramos por centímetro cuadrado.

A los siete días, 230 kilogramos por centímetro cuadrado.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CAPITULO IV

Cementos de escorias.

El cemento de escorias es un producto hidráulico obtenido por la molienda de escoria granulada de alto horno y de un mínimo de un quince (15) por ciento en peso de clinker de cemento Portland, siendo ambos productos molidos simultáneamente para conseguir una mezcla íntima.

La relación entre los elementos componentes deberá cumplir la siguiente desigualdad:

$$\frac{CaO + MgO}{SiO_2 + \frac{1}{3} Al_2O_3} > 1$$

Las adiciones para regular el fraguado no excederán del tres (3) por ciento del peso.

Artículo 18. *Finura de molido.*—Deberá dejar un residuo inferior al uno (1) por ciento en el tamiz de novecientas (900) mallas y menos de doce (12) por ciento en el de cuatro mil novecientas (4.900) mallas.

Artículo 19. *Peso específico real.*—Será mayor de tres con cinco centésimas (3,05).

Artículo 20. *Fraguado.*—No debe comenzar antes de una hora ni terminar después de las doce horas, a partir del momento de amasado.

Artículo 21. *Estabilidad de volumen.*—Lo mismo que el portland, o sea: con la pasta normal se forman sobre placas de cristal perfectamente limpias tres galletas de unos 10 centímetros de diámetro con 15 milímetros de espesor en el centro y nulo en los bordes.

Una de las galletas se conserva en aire húmedo; otra, a las veinticuatro horas, se sumerge en agua dulce, y la tercera se somete a la acción del agua caliente, cuya temperatura se eleva hasta cien (100) grados centigrados durante media hora y se mantiene después en este calor durante dos horas y media.

Las dos primeras galletas se observan a los siete y a los veintiocho días, anotándose todas las deformaciones que presenten.

Cuando el resultado del ensayo en agua caliente es satisfactorio, se dará por bueno el cemento; en el caso de que el resultado fuese nulo, todavía no se desechará el cemento, esperando el que dé la prueba en frío, que será la definitiva.

Durante la fabricación de las galletas y durante su conservación, las temperaturas del aire y el agua estarán comprendidas entre quince (15) y dieciocho (18) grados centigrados, el ambiente será húmedo y no habrá corrientes de aire.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Artículo 22. *Resistencias.*—En mortero uno por tres (1 por 3), la resistencia a la tracción será superior a diecisiete (17) kilogramos por centímetro cuadrado a los siete (7) días y veinte (20) kilogramos por centímetro cuadrado a los veintiocho (28) días.

A la compresión, el mortero uno por tres (1 por 3) deberá dar ciento setenta (170) kilogramos por centímetro cuadrado a los siete (7) días y doscientos diez (210) kilogramos por centímetro cuadrado a los veintiocho (28) días.

CAPITULO V

Cementos puzolánicos.

Artículo 23. *Definición.*—Se llama cemento puzolánico al que se forma al añadir al Portland una puzolana.

El Portland ha de tener las cualidades que para él se determinan en este pliego.

La puzolana tendrá las que se señalan a continuación:

Artículo 24. *Puzolana.*—Se considera como puzolana, a los efectos de este pliego, a todo producto, natural o artificial, que, mezclado con la cal grasa, forma compuestos hidráulicos.

Artículo 25. *Molido.*—El cemento puzolánico tendrá el mismo grado de finura que el Portland.

Artículo 26. *Estabilidad de volumen.*—La estabilidad de volumen se ajustará a las prescripciones fijadas en este pliego para el Portland.

Artículo 27. *Resistencias.*—No bajarán de las del Portland, rebajadas en un veinte (20) por ciento.

Artículo 28. *Inalterabilidad.*—Se medirá la cantidad de cal libre que existe en el cemento, la cual deberá disminuir progresivamente de tal modo que al cabo de un mes quede menos de un trinta (30) por ciento.

CAPITULO VI

Cementos Zumaya.

Artículo 29. *Definición.*—Se llama cemento Zumaya, o simplemente Zumaya, al cemento natural de fraguado rápido obtenido por la calcinación de margas, sin adición de materiales en crudo ni en frío, y que son análogos a los fabricados en la región cementera de Zumaya.

Este cemento, que tomamos como tipo, se describe así:

Se obtiene por la calcinación de margas, cuya composición es la siguiente:

Sílice, de 17,5 a 23 por 100.

Oxido férrico, de 1,5 a 3 por 100.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Alúmina, de 6,5 a 11 por 100.
Cal, de 33,5 a 37 por 100.
Magnesia, de cero a 1,5 por 100.

Estas margas se calcinan con lignitos incorporados al material de origen en una proporción de trescientos (300) a trescientos cincuenta (350) kilogramos por tonelada de cemento producido, siendo la composición del combustible la siguiente:

Análisis inmediata:

Humedad, de 2,30 a 5,50 por 100.
Volátiles, de 6 a 13 por 100.
Cenizas, de 66 a 71 por 100.
Carbono fijo. de 15 a 21 por 100.
Potencia calorífica, de 1.400 a 1.650 calorías.

Análisis elemental:

Carbón fijo, de 15 a 21 por 100.
Hidrógeno, de 1 a 1,50 por 100.
Nitrógeno, de cero a 1 por 100.
Azufre, de cero a 3,80 por 100.
Oxígeno, de 4,50 a 6 por 100.

El lignito utilizado como combustible incorpora al cemento sus cenizas puzolánicas de la siguiente composición:

Sílice, 45 a 58 por 100.
Alúmina, 20 a 30 por 100.
Oxido férrico, 9 a 13 por 100.
Cal, 5 a 8 por 100.
Magnesia, cero a 1,75 por 100.
Otros álcalis, cero a 2 por 100.
Anhídrido sulfúrico, de cero a 5 por 100.

Artículo 30. *Análisis químico.*—El cemento de Zumaya no contendrá más del 3,5 por 100 de anhídrido sulfúrico, ni una cantidad de magnesia superior a 1,5 por 100, y la pérdida al fuego no excederá de 10 por 100.

Artículo 31. *Fraguado y variación de volumen.*—El fraguado del Zumaya empezará de tres (3) a quince (15) minutos y terminará de cinco (5) a veinticinco (25) minutos. Este cemento se someterá a las mismas pruebas en frío que el Portland, para medir la variación de volumen, y no ha de acusar variación en un plazo de siete (7) días.

Artículo 32. *Molido.*—En el cedazo de trescientas veinticuatro (324) mallas dejará un residuo menor del cuatro (4) por ciento.

En el de novecientas (900) mallas el residuo será menor del diecisiete (17) por ciento.

En el de cuatro mil novecientas (4.900) mallas el residuo no excederá del treinta y cuatro (34) por ciento.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Artículo 33. *Resistencias.*—Las probetas, tanto para la tracción como para la compresión, serán de las dimensiones corrientes utilizadas en el Portland, pero tan sólo con pasta normal, fabricada con cincuenta (50) por ciento de agua.

Las probetas para hallar la resistencia en el agua estarán el primer día en el aire y después se sumergirán en agua dulce, sujetándose a las mismas condiciones de temperatura, presión y humedad que para el Portland.

Sólo se harán pruebas a los siete (7) y a los veintiocho (28) días.

Resistencias mínimas a la tracción en el aire (pasta pura):

A los siete días, 8 kilogramos.
A los veintiocho días, 10 ídem.

Resistencias mínimas a la tracción en el agua (pasta pura):

A los siete días, 6 kilogramos.
A los veintiocho días, 8 ídem.

Resistencias mínimas a la compresión en el aire (pasta pura):

A los siete días, 35 kilogramos.
A los veintiocho días, 40 ídem.

Resistencias mínimas a la compresión en el agua (pasta pura):

A los siete días, 30 kilogramos.
A los veintiocho días, 35 ídem.

Disposiciones generales.

Las condiciones de este pliego serán siempre preceptivas en las obras de carácter oficial, mientras no sean modificadas de un modo explícito y terminante por el pliego de condiciones particulares, que en este caso habrá de ser aprobado con los requisitos siguientes:

1.º Que en la Memoria del proyecto se haya justificado debidamente la necesidad de la excepción que se proponga.

2.º Que sobre ella haya informado el Consejo de Obras públicas.

Todos los ensayos necesarios para comprobar si un cemento determinado satisface o no las condiciones consignadas en este pliego se realizarán con estricta sujeción a las instrucciones que se expresan al final del mismo.

Los ensayos que se indican en los artículos 3.º, 5.º, 6.º y los de siete días del artículo 7.º se harán en obra, y su resultado será suficiente para rechazar el cemento y también para recibirlo si la fábrica está sometida a la inspección oficial.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En casos de disconformidad entre receptor y suministrador, se practicarán los ensayos completos por el Laboratorio de la Escuela de Caminos.

PROCEDIMIENTO PARA TOMAR LAS MUESTRAS

Las muestras para hacer los ensayos se tomarán de varios barriles o sacos de los que constituyen la partida y se mezclarán todas muy íntimamente, para formar una sola muestra de calidad media, que será la que se ensaye. Además se recomienda un ensayo independiente de algunas de las muestras parciales.

Al tomar las muestras se procurará no tomar el material en contacto con las superficies de los envases.

El cemento debe enviarse en envases que le preserven de la humedad.

PRUEBAS

Las pruebas preceptivas en obra terminarán antes de transcurrir los veinte días de haberse entregado el cemento, y consistirán estas pruebas en ensayo de cernido, estabilidad de volumen, fraguado y resistencia a la tracción a los siete días. Las demás pruebas se efectuarán en el Laboratorio oficial.

Los cementos blancos y los de colores crema, rosa, etc., que se emplean por esta cualidad en fines decorativos, no se considerarán como cementos Portland y no podrán, por consiguiente, emplearse con este nombre en las obras a que se refiere el presente pliego.

Instrucciones.

ANALISIS QUIMICA

Sílice y materia insoluble.—Dos gramos del cemento previamente desecado a 110° centígrados se colocan en una cápsula de platino, se agrega agua destilada y 20 centímetros cúbicos de ácido clorhídrico y se calienta suavemente hasta que el ataque sea completo, lo cual se favorece agitando con una varilla de vidrio de punta redondeada. Se evapora hasta sequedad en baño de arena, cuidando de que la temperatura no pase de 140° centígrados. El residuo de la evaporación a sequedad se retira, se deja enfriar y se añaden 20 centímetros cúbicos de ácido clorhídrico diluídos en doble o triple volumen de agua destilada, y se vuelve a evaporar a sequedad, con las precauciones indicadas. Terminada esta segunda evaporación y frío el contenido, se humedece éste con ácido clorhídrico concentrado, y algunos minutos después se agrega agua destilada, se calienta, se deja enfriar, se filtra y lava el precipitado en la cápsula y en el filtro, hasta que unas gotas de

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

agua del lavado, recogidas en una cucharilla de platino y evaporadas a sequedad, no deejn mancha alguna.

El filtro y su contenido se colocan en un crisol de platino tarado, se seca, se calcina en la mufla y se pesa. Restando del peso obtenido el de las cenizas del filtro, tendremos el peso correspondiente a la sílice activa o soluble, más el residuo insoluble. La calcinación se repite hasta obtener un peso constante.

Calcinado y pesado el residuo insoluble más la sílice, se hace la separación tratando el calcinado por 10 centímetros cúbicos de ácido fluorhídrico y cuatro gotas de ácido sulfúrico; se evapora hasta sequedad con calor suave, se calcina en el soplete de gas durante dos minutos, se enfría y se pesa; lo que queda en la cápsula es el residuo insoluble, y la diferencia entre el peso obtenido antes y este último es el peso de la sílice activa o soluble.

Se puede determinar también el residuo insoluble tratando un gramo del cemento por un poco de agua y 10 centímetros cúbicos de ácido clorhídrico hasta que el ataque sea completo; se filtra y lava el filtro, primero con una disolución al 3 por 100 de potasa hirviendo, para disolver la pequeña cantidad de sílice que haya podido agregarse, y después con agua destilada y caliente.

Alúmina y óxido férrico.—El líquido que se obtiene al recoger la sílice más la materia insoluble se divide en dos partes iguales: en una de ellas se determina la alúmina y el óxido férrico juntos, y en la otra, este último; por diferencia se obtiene la alúmina.

La operación se lleva paralela y separadamente en ambos líquidos.

Reducidos éstos a unos doscientos centímetros cúbicos, se añaden unas gotas de ácido nítrico, y muy lentamente amoníaco concentrado, hasta que la reacción sea básica, y se hierven hasta que se desprenda el exceso de amoníaco.

Los precipitados de hidrato de hierro y alúmina se recogen en los filtros, que se lavan perfectamente. Cuando se desea gran precisión se disuelven nuevamente en ácido clorhídrico y se vuelven a precipitar los óxidos como se ha dicho.

El precipitado de uno de los filtros se deseca, se calcina en un crisol de porcelana en la mufla y se pesan juntos los dos óxidos de hierro y de aluminio.

El precipitado contenido en el otro filtro se disuelve en unos centímetros cúbicos de ácido sulfúrico; se añaden cien centímetros cúbicos de agua y 10 gramos de zinc puro, y se calienta hasta que la reducción del sulfato férrico sea completa; se filtra sobre lana de vidrio, se lava bien con agua y se dosifica el hierro con una solución de permanganato potásico, valorada de modo que un centímetro cúbico represente menos de cuatro miligramos de óxido férrico.

Cal.—Al líquido procedente de la separación de los hidratos de hierro y aluminio reunidos se le agrega unas gotas de amoníaco, y cuando está hirviendo se trata con 40 centímetros cúbicos de una solución saturada de

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

oxalato amónico, sin interrumpir la ebullición mientras el precipitado no adquiera la forma granular perfectamente definida, y se le deja reposar hasta que todo él se acumule en el fondo de la cápsula; se filtra, se lava y se calcina el filtro y el precipitado al soplete de gas u otro medio, a unos 1.000° centigrados; se enfría en un desacador y se pasa. Conviene repetir la calcinación para comprobar hasta obtener un peso constante.

También se debe comprobar en el líquido si toda la cal está precipitada, añadiendo unas gotas de oxalato amónico.

Magnesia.—El líquido filtrado, al separar la cal, se concentra en baño de maría hasta formar un volumen de 200 centímetros cúbicos, y se añaden 20 centímetros cúbicos de amoníaco y 15 de una solución saturada de fosfato amónico, y se agita con una varilla de vidrio hasta que aparezca el precipitado. Se deja reposar unas doce horas y se filtra, lavando el precipitado; se seca, se calcina el soplete, se enfría y se pesa el pirofosfato magnésico, cuyo peso, multiplicado por 0,3663, nos da la magnesia.

Potasa y sosa.—No se hará la determinación cuantitativa de estas bases, a no ser que la suma de los demás elementos difiera mucho de ciento. En este caso se determinaría por el procedimiento Lawrence, con o sin la adición de carbonato cálcico y de cloruro amónico.

Anhídrido sulfúrico.—Se aprovecha para su determinación uno de los líquidos que se obtuvieron al precipitar los hidratos de hierro y aluminio, que no se han utilizado. Este líquido se hierve, se añaden lentamente 10 centímetros cúbicos de una solución saturada de cloruro bárico, se continúa la ebullición hasta la precipitación completa del sulfato bárico, se lava, se calcina en la mufla y se pesa. El peso del sulfato bárico, multiplicado por 0,3433, nos da el anhídrido sulfúrico.

Azufre total.—Se toma un gramo de cemento desecado y se funde con carbonato sódico y nitrato potásico en un crisol de platino, procurando que los productos de la combustión del gas, caso de emplearse éste, no se incorporen a la masa fundida, para lo cual es muy conveniente colocar el crisol sobre un agujero hecho en un cartón de amianto. Conseguida la fusión, se enfría el crisol rápidamente en agua fría y se vierte su contenido en una cápsula de porcelana, añadiendo agua hirviendo; se acidula con ácido clorhídrico y se separa la sílice y materia insoluble, como ya se ha dicho. El líquido filtrado se trata por unos 20 centímetros cúbicos de cloruro bárico, se hierve y se recoge el azufre en el estado de sulfato bárico. Este peso, multiplicado por 0,1373, nos da el azufre total.

Pérdida al fuego.—Un gramo de cemento se coloca en un crisol de platino, se calcina en el soplete de gas durante quince minutos; se pesa, se vuelve a calcinar durante quince minutos y se pesa de nuevo; la diferencia entre este último peso y el primitivo es la pérdida al fuego. Es muy conveniente que la llama del soplete esté inclinada con relación al crisol y que éste se coloque sobre un agujero hecho en un cartón de amianto.

Finura de molido.—Para determinar la finura del molido de los cementos se emplean los tres cedazos siguientes:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

1.—Con 324 mallas por centímetro cuadrado y formado con hilos de 0,20 milímetros, que corresponde, aproximadamente, a la tela metálica del número 50.

2.—Con 900 mallas por centímetro cuadrado y formado con hilos de 0,15 milímetros, que corresponde a la tela metálica del número 80, aproximadamente.

3.—Con 4.900 mallas por centímetro cuadrado y formado con hilos de 0,05 milímetros, que corresponde, aproximadamente, a la tela metálica del número 190.

Para hacer el ensayo se colocan 100 gramos de cemento desecado sobre el cedazo de 324 mallas, debajo del cual están los otros dos en el orden antes citado; se tapa el primero y se toma con la mano izquierda la caja que contiene los tres cedazos, procurando que su posición sea algo inclinada; se le da un movimiento de vaivén al mismo tiempo que se golpean los costados con la otra mano, a razón de 200 sacudidas por minuto; la operación se considera terminada cuando la diferencia entre dos pesadas consecutivas de los residuos correspondientes a cada cedazo es inferior a 0,1 por 100.

Densidad real.—Como esta propiedad de la materia tiene un carácter absoluto, no hay razón alguna para preferir un procedimiento a otro, con tal que la primera cifra decimal del resultado sea exacta y la segunda se obtenga con un error menor de dos unidades.

En el Laboratorio Central se emplea el volumenómetro "Schumann", operando con 40 gramos del producto que se ensaya y con bencina pura.

Fraguado.—La duración del fraguado de los cementos lentos se refiere a la pasta normal de estos productos, definida por su consistencia, con arreglo a ciertas reglas y convenios previamente establecidos.

Para determinar la cantidad de agua correspondiente a la pasta normal se toma un kilogramo de aglomerante, se le extiende sobre una mesa de mármol o pizarra, formando una corona, dentro de la cual se vierte de una vez toda el agua que se juzga necesaria; se amasa durante cinco minutos, y con parte de la pasta obtenida se llena un molde de forma tronco-cónica, con cuatro centímetros de altura, y cuyas bases tienen ocho y nueve centímetros de diámetro, respectivamente; la inferior, que es la menor, se coloca sobre una placa de cristal perfectamente limpia; después de lleno el molde con un exceso de pasta, se enrasa la base superior del tronco o cono así formado con un cuchillo que se hace deslizar sobre los bordes de aquél.

Inmediatamente se hace penetrar en la probeta, normalmente a su base superior, con lentitud y con mucho cuidado, una sonda cilíndrica de un centímetro de diámetro y cargada con 300 gramos; la sonda ha de estar pulimentada, ha de terminar por una sección plana y normal a su eje y ha de limpiarse con todo esmero antes de operar con ella.

Cuando el espesor de pasta que queda entre el extremo de la sonda y la base inferior de la probeta, en el momento de detenerse aquéllas, es de seis

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

milímetros, la pasta tiene su consistencia normal; cuando es mayor o menor, se repite la operación aumentando o disminuyendo la cantidad de agua tantas veces cuantas sean necesarias para conseguir una pasta en la que penetre la sonda 34 milímetros.

El principio y fin del fraguado se determinan con la aguja de "Vicat", aparato constituído por una sonda cilíndrica de metal pulimentado, limpia, seca y terminada por una sección recta y lisa de un milímetro cuadrado de superficie (1,13 mm. de diámetro), cargada con un peso de 300 gramos.

El ensayo se hace con una probeta de pasta normal, preparada con el molde tronco-cónico antes descrito, sumergiendo éste con aquélla en agua dulce tan pronto como se ha enrasado su base superior.

A intervalos iguales de tiempo, cuya duración depende de la clase de producto que se ensaya, se saca del agua el molde con la probeta que contiene; se colocan debajo de la aguja "Vicat", se anota lo que penetra la sonda en aquélla cuando se la permite descender con mucha suavidad, para que no adquiera velocidad, y se sumergen de nuevo en agua dulce el molde con la probeta. Se dice que empieza el fraguado cuando la sonda no atraviesa por completo a la probeta, y que termina cuando la huella que produce en la base superior de la misma es inferior a un milímetro. El molde con la probeta estarán fuera del agua el tiempo estrictamente necesario para hacer los ensayos.

Los tiempos que transcurren hasta el principio y el fin del fraguado se cuentan desde el instante en que empieza el amasado de la pasta.

Tanto la temperatura del local como la del agua con que se fabrica la pasta y la que sirve para conservarla, estarán comprendidas entre los 15 y los 18° C.

Se entenderá por agua dulce la que, siendo perfectamente clara y transparente, tiene un grado hidrométrico inferior a cinco en la escala de Boutron y Boudet.

Estabilidad de volumen.—Los ensayos para comprobar la estabilidad de volumen de los cementos se hacen de la manera siguiente:

Con la pasta normal se forman sobre placas de cristal perfectamente limpias tres galletas de unos 10 centímetros de diámetro, con 15 milímetros de espesor en el centro y nulo en los bordes.

Una de las galletas se conserva en aire húmedo; otra, a las veinticuatro horas, se sumerge en agua dulce, y la tercera se somete a la acción del agua caliente, cuya temperatura se eleva hasta 100° C. durante media hora, y se mantiene después en este calor durante dos horas y media.

Las dos primeras galletas se observan a los siete y a los veintiocho días, anotándose todas las deformaciones que presentan.

Cuando el resultado del ensayo en agua caliente es satisfactorio se dará por bueno el cemento; en el caso de que el resultado fuese malo, todavía no se desechará el cemento, esperando el que dé la prueba en frío, que será la definitiva.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Durante la fabricación de las galletas y durante su conservación, las temperturas del aire y del agua estarán comprendidas entre 15 y 18° C., el ambiente será húmedo y no habrá corrientes de aire.

Resistencias.

Resistencia por tracción.—Las probetas con las que se hace este ensayo se fabrican con mortero compuesto de una parte de cemento y tres de arena de Leucate, seca y constituída por los granos que pasen por un cedazo de mallas de milímetro y medio y sean retenidas por otro de mallas de un milímetro.

La cantidad de agua con que se amasan estos morteros se determina con la fórmula siguiente:

$$C = \frac{1}{6} P + 38.$$

C es la cantidad de agua, expresada en gramos, con que se ha de amasar un kilogramo de aglomerante y de arena; P es el peso, expresado en gramos, del agua que exige un kilogramo de cemento para formar la pasta de consistencia normal tal como se ha definido anteriormente.

Para fabricar las probetas se mezclan en seco el cemento y la arena todo lo más íntimamente posible; se forma con la mezcla una corona, en cuyo centro se vierte de una vez todo el agua necesaria, y se amasa con una espátula durante dos minutos; esta operación se hace sobre una tabla de mármol o de pizarra dura.

La mezcla así obtenida se coloca en la amasadora tipo Steinbruck, dando 25 vueltas, y de ella se vacía en los moldes de forma de ocho colocados en el martinete "Bohme Martens", dando a la pasta 150 golpes, y se enrasa. A las veinticuatro horas se efectúa el desmolde y se sumergen las probetas en agua dulce.

El ensayo de resistencia por tracción se hace en seis probetas con el aparato "Michaelis", adoptándose como resultado la media de las cargas de rotura de las cuatro mayores.

Resistencia por compresión.—Para las probetas destinadas al ensayo de compresión se adopta la misma forma de fabricación que para las destinadas al ensayo por tracción, teniendo los moldes forma cúbica de 70 milímetros de arista interior.

La temperatura del agua para el amasado y para la conservación de las probetas que se han de romper por tracción y por compresión, así como las del ambiente donde aquéllas se preparan, estará comprendida entre 15 y 18° C.

* * *

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Para los ensayos de puzolanas habrá que atenerse a lo siguiente:

1.° Se hará un completo reconocimiento, se estudiará el yacimiento desde el punto de vista geológico y se tomarán las muestras que han de someterse a los ensayos que a continuación se indican.

2.° Las muestras que se tomen para los ensayos se secarán a la temperatura de 90°, para que pierdan el agua higrométrica sin perder nada del agua combinada.

3.° Después de secas se pulverizarán, de modo que pase más del 88 por 100 por el tamiz de 4.900 mallas.

4.° Con el polvo así obtenido se formará la mezcla normal de prueba, incorporando íntimamente tres partes en peso de puzolana y una parte en peso de cal grasa completamente apagada. La cal grasa que se emplee para este ensayo ha de tener, por lo menos, un 95 por 100 de óxido de calcio, y se apagará con el agua estrictamente necesaria para que el apagado sea completo, lo que se conocerá cuando no se produzca elevación de temperatura por nueva adición de agua.

5.° La mezcla normal de prueba se amasará con agua dulce, cuya temperatura sea de 12 a 20°, empleando la cantidad de agua necesaria para obtener una pasta de la consistencia plástica normal, tal como se define en el pliego de condiciones para el portland. La pasta así obtenida se echará en un molde de modo que forme una capa que tenga un espesor uniforme de 5 cm., y se someterá a la prueba de fraguado. Para esto se empleará aguja de "Vicat" de 1,66 mm. de diámetro con un peso de un kilogramo, dejándola caer desde una altura de 30 mm. Después de estar la probeta siete días en una atmósfera húmeda y a la temperatura de 12 a 20°, la aguja "Vicat" no deberá penetrar más de 7 mm.

6.° Con la mezcla normal de prueba amasada en la forma indicada en el número anterior se harán probetas iguales a las empleadas para las pruebas de resistencia del cemento. Estas probetas se conservarán durante siete días en una atmósfera de 65° de humedad, a la temperatura ya indicada, y al cabo de ese tiempo se sumergirán en agua dulce. A los veintiocho días después de fabricadas deberán tener una resistencia media a la tracción que no baje de 4 kilogramos por centímetro cuadrado.

7.° La puzolana se analizará químicamente. Sus componentes satisfarán las siguientes condiciones límites:

Sílice total, más del 45 por 100.
Agua combinada, más del 5 por 100.
Acido sulfúrico, menos del 1 por 100.
Alúmina, 14 al 22 por 100.
Cal, menos del 12 por 100.

Las cantidades de sílice, agua combinada y ácido sulfúrico se sujetarán a los datos que preceden. En lo que se refiere a la alúmina, la cal y la magnesia, no se podrán tomar los datos anteriores como decisivos para admitir o rechazar una puzolana.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Análisis química de los cementos de escoria.—Como hay que determinar *Mn O* y *S Ca,* además de todos los componentes que se determinan en el cemento Portland, proponemos la siguiente marcha analítica:

La sílice se determina por el procedimiento empleado corrientemente para otros cementos.

El método seguido para la determinación de $R^2 O^3$ se modifica con objeto de determinar el *Mn O,* para lo cual se toma una cantidad de solución equivalente a medio gramo de cemento, se neutraliza en frío con solución de $C O^3 Na^2$, se añaden 15 cc. de solución de acetato amónico al 10 por 100, se diluye con agua hasta 400 cc., se hierve alrededor de un minuto, se retira de la llama y se deja depositar el precipitado; en cuanto la solución está clara, se filtra y lava con agua caliente, a la que se ha añadido un poco de acetato amónico. El precipitado se disuelve en ácido clorhídrico y se vuelve a precipitar con amoníaco y cloruro amónico, según el procedimiento corriente para determinar el $R^2 O^3$.

El filtrado se evapora hasta reducir su volumen a unos 400 cc.; se añade agua de bromo hasta coloración parda, y después amoníaco en exceso; se hierve hasta que el precipitado se separa en copos, se filtra y se calcina al estado de $Mn^3 O^4$; se pesa, y multiplicando el peso obtenido por 0,93 tendremos el peso de Mn O.

En el filtrado anterior se determina la cal por el procedimiento corriente. El $S O^3$ se obtiene por el procedimiento corriente.

Para obtener el azufre que hay en forma de S Ca, se trata un gramo de cemento con una solución formada de 50 cc. de agua y 20 cc. de agua de bromo; se le deja un día en reposo, se le añade 10 cc. Cl H concentrado, se hierve hasta disolución del cemento y expulsión del bromo, se filtra y precipita por el procedimiento corriente, empleando el $Cl^2 Ba$. Del peso del precipitado se resta el encontrado para el precipitado procedente del $S O^3$, y multiplicando la diferencia por 0,1374 tenemos el peso del S. Calculado el azufre, se transforma en S Ca, y el peso de Ca que entra en la formación del sulfuro de cal debe descontarse de la cal total obtenida para determinar exactamente la Ca O que tiene el cemento.

Madrid, 3 de marzo de 1930.—Aprobado este pliego general de condiciones por Real orden de 25 de febrero de 1930.—*Gelabert.*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUAN
MARCH

OBRAS DEL AUTOR

ESTUDIO SOBRE LOS TRANVIAS DE VAPOR.—Folleto (1890). Agotado.

PUENTES DE HIERRO ECONOMICOS, MUELLES Y FAROS SOBRE PALIZADAS Y PILOTES METALICOS.—Segunda edición (1895).—Obra premiada con la Cruz de Caballero de Carlos III; 258 páginas de texto, con 37 figuras intercaladas y 31 láminas en tomo separado.—Informada favorablemente por la Academia de Ciencias.—Agotadas dos ediciones de 1.000 ejemplares.

ESTUDIO SOBRE EL EMPLEO DEL ACERO EN LOS PUENTES.—Publicado en el Boletín de la "Revista de Obras Públicas", números 7, 9 y 10 de 1896. Tomo I.

GRANDES VIADUCTOS.—Primer tomo de la Biblioteca de la "Revista de Obras Públicas" (1897).—Obra premiada con propuesta de la encomienda de Carlos III.—Un volumen en 4.° con 30 láminas, 400 páginas y 100 figuras intercaladas en el texto: 30 pesetas.

LA ASOCIACION INTERNACIONAL PARA EL ENSAYO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION.—Folleto (agotado).

HORMIGON Y CEMENTO ARMADO. MI SISTEMA Y MIS OBRAS.—Folleto.

FUENTES DE HORMIGON ARMADO.—Folleto de los artículos publicados en la "Revista de Obras Públicas" (1900) (agotado).

CUBIERTAS PARA DEPOSITOS DE AGUA.—Folleto (agotado).

CONFERENCIA EN EL ATENEO DE MADRID sobre las construcciones de hormigón armado.—Folleto (agotado), 1902.

LE BETON ARMÉ EN ESPAGNE.—Publicado por el "Bulletin de la Société des Ingenieurs Civils de France". Mars, 1907.

LOS PROGRESOS DEL HORMIGON ARMADO EN ESPAÑA.—Folleto (1907).

LOS PUENTES MODERNOS.—Conferencia en el Instituto de Ingenieros Civiles.—Folleto (1908).

EL FERROCARRIL DE TANGER A ALCAZAR.—Folleto (1913).

LA VERDAD SOBRE EL FERROCARRIL DIRECTO DE MADRID A VALENCIA.—Folleto (1914).

LA CONVENIENCIA ESPAÑOLA EN LA GUERRA EUROPEA.—Conferencia en el Instituto Francés.—Folleto (1915).

LA ARITMETICA Y LA HISTORIA, EN CONTRA DE LA HEGEMONIA ALEMANA.—Conferencia en el Instituto Francés.—Folleto (1916).

EVOLUCIONES CONSTRUCTIVAS.—Conferencia en la Exposición de la Construcción (1925).

PUENTES DE FABRICA Y HORMIGON ARMADO.—Tomo I: **Generalidades, muros y pequeñas obras.**—324 páginas, 213 figuras y 20 láminas (1925).

Tomo II: **Cimientos.**—2.ª edición, corregida y aumentada (1931).

Tomo III: **Anteproyectos y puentes de fábrica** (1929).

En preparación: **Construcción general y Edificación.**

FUNDACION JUANELO TURRIANO